

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y MONITOREO DEL CONTENIDO DE
CLOROFILA MEDIANTE EL USO DEL CCM 200 PLUS EN EL CULTIVO DE
MAÍZ EN LA COMUNIDAD DE LA VEGA MARALE, FRANCISCO MORAZÁN**

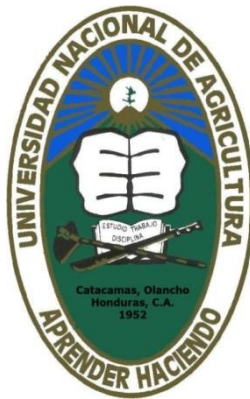
POR:

GERSON ELI LÓPEZ ESPINOZA

TESIS

**PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

INGENIERO AGRÓNOMO



CATACAMAS

DICIEMBRE, 2013

OLANCHO

**FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y MONITOREO DEL CONTENIDO DE
CLOROFILA MEDIANTE EL USO DEL CCM 200 PLUS EN EL CULTIVO DE
MAÍZ EN EL MUNICIPIO DE MARALE, FRANCISCO MORAZÁN**

POR:

GERSON ELI LÓPEZ ESPINOZA

JOSE TRINIDAD REYES. M. Sc.

Asesor Principal

TESIS

**PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

INGENIERO AGRÓNOMO

CATACAMAS

OLANCHO

DICIEMBRE, 2013

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a **DIOS** todo poderoso, por haberme dado la sabiduría y el entendimiento necesario, gracias a su buena voluntad me permitió realizarlo.

A mi padre **Aquileo López** (Q.D.D.G), mi tío **Jorge Espinoza** (Q.D.D.G), que me inculcaron amor, comprensión, cariño, a pesar de convivir poco tiempo durante mi infancia. A mi madre, Elsa Espinoza, por el apoyo que me brindo, a pesar de las adversidades estuvo apoyándome.

A mis tíos (as), especialmente Nicomedes Espinoza y familia, mi tío Baltazar Espinoza, por su apoyo, comprensión, cariño que, me brindaron.

A mi novia Alejandra Regalado por apoyarme incondicionalmente. La familia Regalado, Carranza por su aprecio, apoyo incondicional, cariño, comprensión, consejos que me brindaron.

A la familia Mejía, por todo el apoyo y cariño que me brindaron.

A mis compañeros y hermanos de la clase **KAYROS 2013**, por los momentos de alegría y tristeza que compartimos juntos.

A la Universidad Nacional de Agricultura por ser mi **ALMA MATER**, lo que siempre recordare y respetare.

AGRADECIMIENTO

A DIOS, que todo es gracias a su voluntad.

A mi padre **Aquileo López** (Q.D.D.G), mi tío **Jorge Espinoza** (Q.D.D.G), gracias a ellos logre y aprendí mucho, apoyo y consejos que tengo siempre presentes.

A mi madre Elsa Espinoza, por todo el apoyo que me brindo.

A la Universidad Nacional de Agricultura por haber darme la oportunidad de formarme académicamente.

A mis compañeros de la clase kayros 2013, más que compañeros, hermanos.

A mis asesores M.Sc. José Trinidad Reyes, M.Sc Gustavo Ramón López, Ing. Ramón Heberto Ávila por su orientación y conocimiento que me brindaron.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
CONTENIDO.....	iv
LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. General.....	3
2.2. Específicos.	3
III. REVISION DE LITERATURA.....	4
3.1. Importancia de la fertilización en el cultivo de maíz.....	4
3.2. El nitrógeno en el suelo	4
3.3. Importancia del nitrógeno en la nutrición del maíz.	5
3.4. Requerimiento de nitrógeno por el maíz.....	6
3.5. Demanda de nitrógeno según la etapa de crecimiento.....	6
3.6. Principales fertilizantes nitrogenados.	10
3.6.1. Urea	10
3.6.2. Nitrato de amonio.....	10
3.7. Principales pérdidas de nitrógeno	11
3.7.1. Pérdida por volatilización.....	11
3.7.2. Pérdida por lixiviación o lavado.....	11
3.7.3. Pérdida por desnitrificación.	12
3.8. Función del nitrógeno en la planta.....	12

3.9. Deficiencia de nitrógeno.....	13
3.10. Medidor de clorofila (CCM 200 plus) en el cultivo de maíz.....	13
3.10.1. Importancia del CCM 200 plus	14
3.10.2. Función del CCM 200 plus	14
3.10.3. Cómo funciona el CCM 200 plus.....	15
IV. MATERIALES Y METODOS	17
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
VI. CONCLUSIONES	47
VII. RECOMENDACIONES	48
VIII. BIBLIOGRAFIA	49
ANEXOS	54

LISTA DE CUADROS

pág.

Cuadro 1. Tratamientos y dosis de fertilizante	18
--	----

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Promedio de altura de planta de planta de maíz según dosis de nitrógeno.	25
Figura 2. Promedios de número de hojas en el cultivo de maíz según la dosis de nitrógeno.	26
Figura 3. Promedio de diámetro de tallo de planta de maíz según dosis de nitrógeno.	27
Figura 4. Promedio de altura de mazorca en el cultivo de maíz según la dosis de nitrógeno.	28
Figura 5. Promedio de mazorcas por plantas en el cultivo de maíz según la dosis de nitrógeno.	30
Figura 6. Promedio de pudrición por mazorca en el cultivo de maíz según la dosis de nitrógeno.	31
Figura 7. Promedio de longitud de mazorca en el cultivo de maíz según la dosis de nitrógeno.	32
Figura 8. Promedio de diámetro de mazorca en cultivo de maíz según la dosis de fertilizante nitrogenada.	33
Figura 9. Promedio hileras por mazorca en el cultivo de maíz según la dosis de fertilizante nitrogenado.	35
Figura 10. Promedio de granos por hilera de planta de maíz según dosis de fertilizante nitrogenado	36
Figura 11. Promedio de peso de cien granos de planta de maíz según dosis de fertilizante nitrogenado.	37
Figura 12. Promedio biomasa de planta de maíz según dosis de fertilizante nitrogenado..	39
Figura 15. Promedio peso de mazorca sin tuza en cultivo de maíz según dosis de fertilizante nitrogenado.	40
Figura 16. Promedio de rendimiento de maíz según dosis de fertilizante nitrogenado.....	42

Figura 18. Relación entre el índice de contenido de clorofila en el estadio V3 (a) y en el estadio V6 (b) con el rendimiento (kg ha^{-1}).	43
Figura 18. Relación entre el índice de contenido de clorofila estadio V9 (a) y el estadio V12 (b) con el rendimiento (kg ha^{-1}).	43
Figura 19. Relación índice de contenido de clorofila en estadio R3 y rendimiento de maíz (kg ha^{-1}).	44

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo 1. Análisis de varianza para la variable altura de planta.....	55
Anexo 2. Análisis de varianza para la variable número de hojas.....	55
Anexo 3. Análisis de varianza para la variable diámetro de tallo.	55
Anexo 4. Análisis de varianza para la variable altura de mazorca.....	55
Anexo 5. Análisis de varianza para la variable mazorca por planta.....	56
Anexo 6. Análisis de varianza para la variable pudrición de mazorca.....	56
Anexo 7. Análisis de varianza para la variable longitud de mazorca.....	56
Anexo 8. Análisis de varianza para la variable diámetro de mazorca.....	56
Anexo 9. Análisis de varianza para la variable número de hileras por mazorca.....	57
Anexo 10. Análisis de varianza para la variable granos por hilera.	57
Anexo 11. Análisis de varianza para la variable peso de cien granos.....	57
Anexo 12. Análisis de varianza para la variable biomasa.	57
Anexo 13. Análisis de varianza para la variable mazorca sin tuza.	58
Anexo 14. Análisis de varianza para la variable rendimiento.	58
Anexo 15. Análisis de varianza de la regresión para la 1era. Medición del índice del contenido de clorofila.	58
Anexo 16. Análisis de varianza de la regresión para la 2da. Medición del contenido de clorofila.	58
Anexo 17. Análisis de varianza de la regresión para la 3era. Medición del contenido de clorofila.	59
Anexo 18. Análisis de varianza de la regresión para la 4ta. Medición del índice de contenido de clorofila.	59
Anexo 19. Análisis de varianza de la regresión para la 5ta. Medición del índice de contenido de clorofila	59

LOPEZ ESPINOZA, G. 2013. Fertilización nitrogenada y monitoreo del contenido de clorofila mediante el uso del CCM 200 plus en el cultivo de maíz en la comunidad de La Vega, Marale, Francisco Morazán. Tesis. Ing. Universidad Nacional de Agricultura. Honduras, Catacamas, Olancho. 71 pág.

RESUMEN

El experimento se realizó en La Vega, municipio de Marale, en el departamento de Francisco Morazán, con el propósito de evaluar la fertilización nitrogenada y el monitoreo de clorofila en el cultivo del maíz. Se utilizó un diseño en bloques completo al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. El área total del experimento fue de 540 m². Con una densidad de 20,000 plantas/ha⁻¹. Los tratamientos evaluados fueron desde T₀ a T₅. Las variables evaluadas fueron nivel de clorofila, número de hojas, altura de planta, altura de mazorca, pudrición de mazorca, mazorcas por planta, diámetro de tallo, diámetro de mazorca, longitud de mazorca, hileras por mazorca, granos por hilera, peso de 100 granos, rendimiento, biomasa aérea. Los mejores resultados del índice del contenido de clorofila se dieron en la cuarta medición, la cual se realizó en el estadio V12 de cultivo de maíz, donde dio como resultado altamente significativo. Donde demuestra que cuando el índice de clorofila es igual a cero, el rendimiento del cultivo es igual a 239.96 kg/ha⁻¹ y el mismo se incrementa en 51.016 kg/ha⁻¹ por cada unidad de incremento del índice de clorofila. Según el análisis de regresión realizado para evaluar el rendimiento con el índice de contenido de clorofila, resultó altamente significativo, lo que indica una relación directa entre el índice de verdor de la planta y el rendimiento del grano de la planta de maíz.

Palabras claves: Clorofila, CCM 200 plus, nitrógeno, maíz, rendimiento.

I. INTRODUCCION

En Honduras, el maíz constituye una fuente importante de proteínas y carbohidratos. Este grano forma parte central de la dieta humana y en la zona rural se carece de otras fuentes nutricionales alternativas vegetales o animales que vengán a disminuir el delicado problema de desnutrición que afecta esta población. Esta situación es más grave en niños, madres embarazadas y que amamantan; lo que hace estar ligado a un sistema de seguridad alimentaria (Rodríguez citado por Ayala 2010).

PRIAG citado por Ramírez (2008) afirma que el cereal más importante en Honduras es el maíz (Poacea: *Zea mays*, L.) ya que es el grano básico fundamental en la alimentación de la población y en la industria de concentrados para la alimentación animal.

El nitrógeno es un nutriente esencial para los seres vivos, ya que es uno de los constituyentes principales de compuestos vitales como aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleicos, así como también las paredes celulares y clorofila en los vegetales como el maíz (Perdomo, *et al*, s.f).

El maíz necesita de 20 a 25 kg ha⁻¹ de N por cada tonelada de grano producida (Castillo y Ligarreto, 2010). Rozas y Echeverría (1998) aseguran que la aplicación del fertilizante nitrogenado debe basarse siempre en las necesidades del cultivo, buscando el momento de máximo aprovechamiento. El contenido de clorofila en la hoja de maíz está estrecha y positivamente relacionado con la concentración de N en la hoja y, por lo tanto, refleja la condición nitrogenada del cultivo. El medidor de clorofila (CCM 200 plus) es un instrumento que permite evaluar indirectamente y en forma no destructiva el contenido de clorofila en la hoja y por ende, el estado nutricional del cultivo a través de una simple lectura.

García y Daverede (s.f) aseguran que el CCM 200 plus es un método rápido, no destructivo y fácil de utilizar, permite realizar muestreos frecuentes y explorar en mayor medida la variabilidad en un sitio comparado con otros métodos. Sin embargo, presenta el inconveniente de que el índice de verdor es afectado por numerosos factores como genotipos, estados de crecimiento, otros nutrientes, enfermedades o ataques de insectos, y condiciones ambientales como humedad y temperatura al momento de la medición. Numerosos estudios han demostrado variaciones del índice de verdor generadas por distintos genotipos de una misma especie, entre estados de crecimiento, independientemente de la aplicación de N, y por la disponibilidad hídrica.

El uso adecuado de dispositivos como CCM 200 plus provee una estimación rápida y confiable del estado nutricional de nitrógeno del cultivo de maíz, y del rendimiento final (Torres s.f).

II. OBJETIVOS

2.1. General.

- ✓ Determinar durante el ciclo del cultivo de maíz, la relación existente entre las lecturas absolutas del CCM 200 plus y el índice de suficiencia de N con el rendimiento del grano.

2.2. Específicos.

- ✓ Monitoreo de fertilización nitrogenada, la intensidad de verdor a lo largo del ciclo de cultivo mediante el CCM 200 plus.
- ✓ Evaluar la respuesta en rendimiento de diferentes dosis igualmente espaciadas de fertilización nitrogenada.
- ✓ Relacionar la respuesta con el índice verde determinado por CCM 200 plus.

III. REVISION DE LITERATURA

3.1. Importancia de la fertilización en el cultivo de maíz.

A lo largo de los años, los fertilizantes se han convertido en un insumo fundamental en la producción de maíz debido al laboreo de los suelos y sumado a la disminución de la frecuencia de la rotación entre cultivos de grano, ha ido reduciendo el contenido de materia orgánica (MO), llegando en muchos casos a valores que alcanzan el 50% de la disponibilidad original. Entre otras consecuencias, esta reducción trae aparejado una disminución de la fertilidad potencial de aquellos nutrientes cuyo reservorio principal es la MO del suelo, como es el caso del nitrógeno (Rillo y Richmond citado por Ferrufino 2011).

Aldrich citado por Torres (1985) manifiesta que la falta de nutrientes en el suelo se refleja en las características de la planta de maíz más que en la mayoría de otros cultivos, y con frecuencia se dice que el maíz “habla” aunque, la falta de ciertos nutrientes producen algunos síntomas característicos en el maíz que algunas veces son confundidos fácilmente con aquellos ocasionados por condiciones ambientales. Los suelos pobres en nitrógeno producen plantas pequeñas y débiles que tienen color amarillento en las hojas. El maíz al igual que otras plantas no pueden producir rendimientos máximos a menos que hayan disponibles nutrientes en cantidades suficientes.

3.2. El nitrógeno en el suelo

.

Gonzales, citado por Irragori (s.f) asegura que en el suelo, el N está presente en tres formas: a) Como compuestos orgánicos asociados con el material vegetal, organismos y humus del suelo, b) Como N amoniacal ligado a las arcillas minerales, que es difícilmente extraíble, c)

Como N mineral en disolución en forma mayoritaria de amonio y nitrato. El 95% del N del suelo está en forma orgánica, y por tanto, no disponible para las plantas. La mineralización del N orgánico ocurre cuando los microorganismos del suelo descomponen los residuos vegetales o la materia orgánica, liberando el N que no utilizan para su crecimiento en forma de amonio (NH_4^+). El proceso contrario, es decir, la inmovilización del N mineral (tanto en forma de nitrato como de amonio) por los microorganismos ocurre cuando éstos no obtienen el suficiente N para su crecimiento y toman el N inorgánico del suelo. Ambos procesos ocurren simultáneamente y el balance entre ellos, denominado mineralización neta, determina la cantidad de N mineral que el suelo pone a disposición de las plantas (Iragorri 2007).

Las principales entradas de N al sistema suelo-planta son la deposición atmosférica, las excretas animales, la fijación biológica del nitrógeno y la fertilización nitrogenada. La deposición de la atmósfera y la lluvia puede suponer hasta $45 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}$. La lluvia proporciona una cantidad pequeña, pero significativa, estimada en unos $30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}$. Otras deposiciones atmosféricas se calculan entre 6 y $15 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}$.

3.3. Importancia del nitrógeno en la nutrición del maíz.

Iragorri (2007) expresa que el N es el elemento que más directamente influye en la producción vegetal y en el contenido de proteína de los cultivos de grano. Ferraris y Couretot (2009) aseguran que el Nitrógeno (N) es el principal elemento para la producción de maíz. La magnitud de su demanda y su baja disponibilidad en los suelos hacen que, a excepción de los suelos de pradera, se deba recurrir al uso de fertilizantes para optimizar el crecimiento del cultivo.

3.4. Requerimiento de nitrógeno por el maíz.

Para estimar una dosis de N para maíz se requiere: a) Analizar el suelo para conocer la reserva de N, b) Estimar un rendimiento potencial o esperado, c) Conocer el requerimiento de N por tonelada de materia seca (MS) producida (Figuerola y Faz s.f). La planta de maíz consume más nitrógeno que ningún otro elemento nutritivo proveniente del suelo. En el aire por encima de cada hectárea existen unas treinta toneladas de nitrógeno, pero el maíz no puede asimilarlo (Sosa citado por Ferrufino 2011).

Los requerimientos nutricionales de los cultivos varían de acuerdo al nivel de producción y el ambiente, por lo que debe tenerse en cuenta que estos requerimientos son solamente orientativos ya que la bibliografía indica valores variables según la fuente consultada INPOFOS (s.f). En el momento que el maíz se encuentra a la altura de la rodilla necesita 3.4 kg/ha^{-1} de N al día, y es en esta etapa que muchos campos de maíz se queda sin nitrógeno. El síntoma se inicia con el amarillamiento en la punta de las hojas bajas que gradualmente se expanden por la nervadura y que luego continúa en las hojas más altas en la planta (INPOFOS, s.f).

Figuerola y Faz (s.f) aseguran que el requerimiento de N en la planta de maíz es de 22 kg ha^{-1} de N por tonelada de grano producido, además menciona que también requiere de 4 kg ha^{-1} de fosforo por tonelada de grano, también la planta demanda 19 kg ha^{-1} de potasio por tonelada de grano.

3.5. Demanda de nitrógeno según la etapa de crecimiento.

El conocimiento de la etapa fenológica del ciclo biológico del maíz es importante para entender sus necesidades en las diferentes etapas del crecimiento y desarrollo, especialmente en sus periodos críticos. La duración de las etapas fenológicas depende de la variedad, así como la temperatura, la que a su vez está determinada por la altura

sobre el nivel del mar y el fotoperiodo. A continuación se presenta un modelo fenológico ampliamente aceptado por los especialistas en el cultivo:

VE: coleoptilo emerge de la superficie del suelo. El meristemo apical debajo de la superficie del suelo, y el crecimiento de las raíces seminales decrece y comienza el desarrollo de raíces nodales en los nudos inferiores. Se debe realizar la preparación del suelo para garantizar una buena emergencia, con humedad y temperatura adecuada. Las plántulas son muy sensitivas al microambiente y la absorción de nutrientes solo se da con las raíces seminales.

V3: Tres hojas completamente desarrolladas. Meristemos apicales debajo de la superficie del suelo. El crecimiento de las raíces seminales cesa y se acentúa el de las raíces nodales. Temperatura superficial critica para las plántulas. Los daños al follaje no afectan el meristemo apical, que está bajo el suelo. El buen establecimiento de la planta es vital para su establecimiento.

V6: Seis hojas completamente desarrolladas. Meristemos apicales sobre la superficie del suelo. Meristemos se convierten en flores masculinas incipientes. Todas las hojas se encuentran iniciadas, pero no visibles. Tallo inicia fase de elongación rápida. Raíces no (alrededor de 40%) y absorción de nutrientes. Raíces nodales exploran un volumen extenso de suelo. Respuesta a la fertilización con nitrógeno.

V9: Nueve hojas completamente desarrolladas. Flor masculina en rápido crecimiento. Conversión de meristemos laterales en mazorca. Crecimiento rápido del cultivo; expansión del follaje y captura cada vez mayor de la radiación disponible. Desarrollo de raíces nodales en nudos adicionales. Tasa de crecimiento aun mayor debido a mayor intercepción de radiación (60%). Expansión rápida del follaje y absorción de nutrientes. Iniciación de óvulos en la mazorca incipientes (numero por hilera). Fertilización adicional.

V12-V15: Doce a quince hojas completamente desarrolladas. Mazorcas en fase de iniciación de óvulos. Espiga en rápido crecimiento y en competencia por recursos con las mazorcas. Follaje y cultivo con rápido expansión. Captura casi total de radiación disponible. Mazorcas inferiores abortan. La acumulación de biomasa entra en la fase lineal. Estrés ambiental reduce el número de óvulos y mazorcas por plantas. Alta demanda de humedad y nutrientes.

V18-V22: Dieciocho a veintidós hojas completamente desarrolladas. Espiga a punto de emergencia. Rápido crecimiento de óvulos en mazorcas iniciadas. Expansión del follaje casi cesa y la cobertura del suelo es casi completa. Se absorben raíces adventicias. Desarrollo de mazorcas muy sensitiva a estrés ambiental. Altos requerimientos de nutrientes y humedad. Estrés afecta más a la floración femenina, retardando la emisión de los estigmas y reduciendo el rendimiento en grano.

VT: Visible ultima rama de la espiga, pero los estigmas aún no han emergido. Espiga totalmente expuesta. Derramamiento de polen por unas dos semanas. Altura y número final de hojas establecidas. El rendimiento es muy susceptible a estrés ambiental. Óvulos en estado de crecimiento rápido. Follaje intercepta el 90% de la radiación.

R1: Emisión de los estigmas. Estigmas emergen para ser polinizados. El grano de polen toma 24 horas para fertilizar el ovulo.

R2: Etapa de ampolla, diez a doce días después de la fertilización. El endospermo este lleno de líquido claro y el grano parece una ampolla. Se observa el embrión; este tiene los meristemos apicales y la primera hoja formada. Estigmas se oscurecen y degeneran. Comienza la fase lineal de acumulación en grano. El almidón comienza a acumularse en los granos. Redistribución del nitrógeno y fosforo de otras partes de la planta hacia el grano. Senescencia de hojas inferiores. Grano con 85% de humedad.

R3: Etapa de leche, 18 días después de la floración. Líquido claro lechoso en el endospermo. Concentración alta de azúcares. El embrión comienza a crecer rápidamente y termina la división celular. Estigmas muertos.

R4: Etapa de masa, 24-28 días después de la floración. Grano se llena con sustancia blanca pastosa. Embrión tiene 4 hojas y ha crecido mucho con respecto a la R3. Acumulación de almidón en endospermo. Almidón seco o endurecido se deposita de la corona hacia la base del grano formando la línea de leche. Desarrollo de línea de leche indicador del estadio fisiológico. Re movilización de nutrientes de la planta hacia los granos. Senescencia rápida de las hojas. Número final de grano determinado. Granos con 70% de humedad.

R5: Etapa de dentado, 35-42 días después de la floración. La parte superior del grano se llena con almidón seco. Re movilización de nutrientes de la planta hacia los granos. Senescencia más rápida de las hojas. Granos con 50-60% de humedad.

R6: Madurez fisiológica, 55-65 días después de la floración. Los granos alcanzan su peso máximo. La línea de almidón seco ha avanzado hasta la base, formando la capa negra y esta es visible. La planta seca. Final del cultivo. Grano con 30-35% de humedad. Pérdida adicional de humedad depende del clima.

Se considera también que no todas las plantas de un campo llegan al mismo tiempo a una etapa fisiológica; por lo tanto se considera que una plantación ha llegado a una etapa cuando el 50% de las plantas han alcanzado la misma. Además las hojas se consideran completamente desarrolladas cuando se pueden observar el cuello de la hoja, o sea la unión de la vaina con el limbo (Bolaños y Edmeades 1993).

3.6. Principales fertilizantes nitrogenados.

3.6.1. Urea

La urea con su fórmula química NH_2CONH_2 , tiene un peso molecular de 60.06 g/mol es de color blanco con una solubilidad de 110 g/100 ml de agua (15°C) y humedad crítica relativa (HCR) a 30 °C es de 70%. Es compatible con la mayoría de los fertilizantes, excepto con nitrato de amonio, nitrato de calcio, nitrato de sodio y nitrato de magnesio.

La urea es el fertilizante nitrogenado más utilizado mundialmente. Esto se debe, entre otros, a su accesibilidad económica, su elevada concentración de nitrógeno por unidad de producto (46% de N) y la alta solubilidad en la solución edáfica (Agritec, citado por ferrufino 2011). ICC, citado por Bautista (2005) considera que la urea no es fertilizante amoniacal en la forma que se volatiliza. Se hidroliza rápidamente en carbonato de amonio cuando es puesto en el suelo. Una vez que se ha convertido en amonio, la urea se comporta como cualquier fertilizante nitrogenado. La urea es el fertilizante nitrogenado sólido más concentrado y por lo tanto tiene ventajas en el almacenamiento, transporte y manipulación.

3.6.2. Nitrato de amonio

Formula química: NH_4NO_3 , tiene un peso molecular de 80.04 g/mol, es de color blanco a blanco amarillento con una solubilidad de 200 g/100 ml de agua (20°C) y humedad crítica relativa (HCR) a 30°C de 59%, es incompatible con urea.

3.7. Principales pérdidas de nitrógeno

3.7.1. Pérdida por volatilización.

La pérdida de nitrógeno (N) por volatilización del gas amoníaco (NH_3) puede ser la principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales. Dichas pérdidas son el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos, cuya magnitud es afectada por factores de ambiente, suelo y manejo tales como temperatura, pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica, cobertura y calidad de residuos en superficie, viento, tensión de vapor superficial y la dosis y localización del fertilizante (Ferraris et al 2005).

Perdomo, *et al*, (s.f) afirma que la volatilización, junto con la desnitrificación son los procesos del ciclo del N mediante los cuales el N vuelve a la atmósfera. El término volatilización se utiliza para describir el proceso de pérdida de N del suelo como amoníaco (NH_3). Basándose en una revisión de resultados de experimentos de balance de N usando N_2 , Hauck (s.f) estima que las pérdidas de N por ese proceso del fertilizante nitrogenado aplicado serían en promedio del orden del 15 a 20%.

3.7.2. Pérdida por lixiviación o lavado.

Perdomo, *et al*, (s.f) debido a su carga negativa, el nitrógeno no es retenido por la fracción coloidal del suelo. Por lo tanto, el agua que se mueve a través del mismo puede llevar consigo el nitrógeno hacia los horizontes inferiores, proceso que se conoce como lixiviación o lavado. La lixiviación del nitrato (NO_3^-) consiste en el movimiento de este anión por el agua gravitacional a través del perfil del suelo (Addiscott, citado por Ferrufino 2011).

3.7.3. Pérdida por desnitrificación.

Perdomo, *et al*, (s.f) asegura que la desnitrificación es un proceso de reducción biológica realizado en el suelo por un gran número de microorganismos anaerobios facultativos. En condiciones de anaerobiosis estos microorganismos utilizan el NO_3 y el NO_2 en lugar de O_2 como aceptores de electrones (e^-), produciendo dos formas gaseosas de N, N_2O (óxido nitroso) y N_2 (N molecular).

3.8. Función del nitrógeno en la planta.

El objetivo final de la práctica de fertilización, ya sea en maíz como en cualquier otro cultivo, es el de aumentar la rentabilidad del mismo, dentro de un marco sustentable. Una de las formas de conseguir un aumento en la rentabilidad, es aumentando la productividad y la calidad. Es en este punto donde los nutrientes cumplen un rol fundamental. El concepto que hay que remarcar permanentemente es el de nutrición de los cultivos, en donde la fertilización es una de las herramientas.

El maíz como toda gramínea, es altamente demandante de nitrógeno, por lo que es este nutriente uno de los principales a tener en cuenta en cualquier plan de fertilización dentro de una nutrición balanceada. Esto es, para poder conseguir que la planta de maíz trabaje óptimamente, es necesario un aporte necesario de nutrientes. El nitrógeno es el nutriente motor del crecimiento. Cuando la planta lo absorbe, lo acumula como nitrato en las hojas, y es este nitrato el encargado de motorizar la síntesis del complejo hormonal del crecimiento, cuyo exponente principal es el AIA (ácido indol acético). Así mismo, el nitrógeno es el componente principal de la mayoría de los aminoácidos que integran las proteínas (Gaspar y Tejerina s.f).

3.9. Deficiencia de nitrógeno.

Tisdale y Nelson, citado por Alvarado (2002) aseguran que cuando las plantas presentan deficiencias de nitrógeno se vuelven raquíticas y amarillas. Este amarillamiento o clorosis aparece primeramente en las hojas inferiores mientras las hojas superiores permanecen verdes. En caso de grave deficiencia de nitrógeno las hojas se vuelven color marrón y mueren. La tendencia de las hojas superiores a permanecer verdes mientras las inferiores amarillas mueren indica la movilidad del nitrógeno en la planta. Siendo la deficiencia de nutrientes un tema de vital importancia en nuestro medio, principalmente la deficiencia de nitrógeno en los suelos destinados para la agricultura de nuestro país.

Ferraris y Couretot (s.f) sustentan que la magnitud de su demanda (nitrógeno) y su baja disponibilidad en los suelos hacen que, a excepción de los suelos de pradera, se deba recurrir al uso de fertilizantes para optimizar el crecimiento del cultivo. El diagnóstico de fertilidad nitrogenada se realiza habitualmente utilizando diversos indicadores de suelo y planta. Estos últimos se basan en monitorear la concentración del nutriente en un órgano vegetal, o medir la intensidad de verde, principal variable modificada ante cambios en la concentración de N en planta. El desarrollo de un criterio rápido para monitorear carencias de N en planta es de suma utilidad para decidir una eventual refertilización con más precisión que utilizando los datos de suelo, siendo posible además establecer dosis variables de N cuando el índice verde indique diferencias que lo justifiquen.

3.10. Medidor de clorofila (CCM 200 plus) en el cultivo de maíz.

Existe una estrecha asociación entre el contenido de nitrógeno (N) y clorofila en hojas de maíz. En consecuencia, el estado nutricional del cultivo puede ser evaluado a través de la medición del contenido de clorofila de la hoja (Rozas y Echeverría, 1998). Iragorri, (s.f) sustenta que la concordancia entre las necesidades de nitrógeno (N) y la fertilización nitrogenada es esencial para alcanzar altos rendimientos del cultivo y reducir las pérdidas de N al medio ambiente. Por ello, surge la necesidad de una herramienta que

se pueda emplear para el diagnóstico del estado nutricional del maíz. El análisis de tejido deshidratado normalmente empleado para el diagnóstico requiere tiempo y es destructivo, por lo que los medidores de clorofila, que son instantáneos y no destruyen la muestra, son una alternativa que está ganando en aceptación, CCM 200 plus.

3.10.1. Importancia del CCM 200 plus

Follet, *et al*, citado por Irigorri (s.f) expresa que la utilidad básica del CCM 200 plus es proporcionar información sobre el estado nutricional nitrogenado de la planta para su aplicación en la fertilización nitrogenada. Sin embargo, y dado que el estado nutricional nitrogenado del maíz a lo largo de su desarrollo tiene un efecto claro sobre la producción. Es importante en la validación del CCM 200 plus como una herramienta de diagnóstico para determinar el estado de nutrición nitrogenada del maíz y evaluar su capacidad para predecir el rendimiento del maíz.

3.10.2. Función del CCM 200 plus

Gil y Giménez, (s.f) manifiesta que el CCM 200 plus es una herramienta característica de la agricultura de precisión desarrollada inicialmente para la gestión y distribución de nitrógeno. Se trata de un equipo compuesto por serie de sensores y un software capaz de trabajar “sobre la marcha” midiendo la luz reflejada por el cultivo y transformando esta información a cantidad óptima de nitrógeno por hectárea.

El medidor de clorofila (CCM 200 plus), es un instrumento que permite evaluar indirectamente y en forma no destructiva el contenido de clorofila de la hoja y por ende, el estado nutricional del cultivo a través de una simple lectura. Los valores del clorofilometro al estadio v6 están relacionado con el estado nutricional de la planta (Piekielek y Fox, citado por Rozas y Echeverría, 1998).

Follett, citado por Irigorri (s.f) sustenta que ha estudiado la relación entre las lecturas de los medidores de clorofila en diferentes estadios y el rendimiento. Describieron que la relación entre las lecturas del CCM 200 plus y bien la concentración de N en hoja o la del rendimiento en diferentes localizaciones era escasa, lo que condujo a la conclusión que era necesario investigar los efectos de localidad, humedad del suelo, prácticas de cultivo y diferencias entre cultivos.

Quemada (s.f) afirma que se ha evaluado el papel del CCM 200 plus en tres aspectos: a) Capacidad de identificar parcelas en las que un aporte de nitrógeno tardío incrementaría la producción, b) Capacidad para decidir si un aporte suplementario podría incrementar la concentración de proteína en grano, c) Capacidad de predecir la producción y contenido de proteína para realizar separación de partidas.

3.10.3. Cómo funciona el CCM 200 plus

El CCM 200 plus mide la luz transmitida por una hoja de una planta a dos longitudes de onda (650 nm y 949 nm), el registro de esta medida y el registro cuando no existe muestra es procesado por el equipo para darnos un valor que es el que debemos interpretar. Este valor es diferente según se utilice un equipo u otro pero existen experimentos previos que los relacionan con una alta correlación. Neukirchen y Lamm, citado por Irigorri (s.f) expresa que el CCM 200 plus calcula un valor numérico y adimensional que es proporcional a la cantidad de clorofila presente en la hoja.

Se realiza una calibración del equipo con la pinza de muestreo vacía. Se selecciona una planta y se coloca en la pinza la hoja inferior de la misma totalmente expandida, registrándose un pitido. Así deben realizar 30 medidas de distintas plantas. Tras los 30 muestreos, el equipo da un valor en una pantalla digital es lo que llamaremos lectura absoluta del CCM 200 plus.

Ferraris y Couretot, 2010 realizaron un experimento en Colombia en el cultivo de maíz haciendo uso del CCM 200 plus sobre un suelo serie Hughes, argiudol típico, clase de uso 1 de muy buena productividad para monitorear en ellos la evolución del índice verde y así extrapolar la relación entre el rendimiento y el valor del CCM 200 plus.

Se determinó la intensidad de verdor mediante CCM 200 plus en los estadios v5, v7, v10, r1, así como los componentes del rendimiento, número (NG) y peso (P1000) de los granos.

El medidor de clorofila CCM 200 plus fue sensible a cambios de intensidad de verdor originada por variaciones originada en la dosis de nitrógeno, o diferencias varietales. Observaron una clara relación entre el rendimiento y la lectura del CCM 200 plus, en todos los estadios del cultivo. Es decir, ya desde un estado tan temprano como v5 diferencias en la dosis de nitrógeno se manifestaron en la intensidad del verdor y pudieron ser detectadas por las lecturas del CCM 200 plus.

Observaron altos niveles de rendimiento a pesar de registrarse un severo estrés hídrico. Se verificó una considerable respuesta a fertilización nitrogenada, alcanzando un rango de 2251 a 5683 kg/ha, entre 31 a 77% sobre el rendimiento del testigo. El tratamiento T4 (N20 a la siembra + N100 en V6) fue de mínima dosis que no se diferenció del máximo rendimiento. Las lecturas del CCM 200 plus fueron sensibles a diferencias en la intensidad de verdor, y correlacionaron en forma significativa y con buen ajuste con los rendimientos y la respuesta a N.

Para el ensayo de dosis realizado en esta investigación y el híbrido dk 670 mg, se alcanzaron r^2 : 0.95 con lecturas de CCM 200 plus de 735, 680, 750 y 700 unidades, para estadios V5, V7, V10, R1, respectivamente. De manera indirecta, umbrales de referencia fueron establecidos para otros materiales genéticos ampliamente difundidos.

IV. MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó en la aldea de la Vega, municipio de Marale, en el departamento de Francisco Morazán, Honduras. El lugar presenta una temperatura mínima de 20°C y una máxima de 32 °C, humedad relativa de 70%, ubicado a una altitud media de 700 msnm, latitud de 14°53'00" N, con velocidad del viento 11.27 km/hora (Rodríguez citado por Ayala 2010).

Las distintas fuentes de fertilizante nitrogenado que se utilizaron fueron urea (46% N) y 12-24-12. Para monitorear el contenido de clorofila en el cultivo de maíz se utilizó el sensor de nitrógeno (CCM 200 plus).

Para la siembra del maíz se utilizó la cero labranza y siembra con chuzo, se procedió a limpiar el área experimental y luego a la siembra creando las condiciones necesarias para la emergencia de las plántulas. Se utilizó semilla de maíz de la variedad "olotillo", además se hizo uso de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades.

Se realizó de forma manual, depositando dos semillas por postura a una distancia de 0.50 m entre planta y de 0.80 m entre surco, para una densidad final de 20,000 plantas/ha.

Se aplicó fertilizante 12-24 12 al momento de la siembra a un lado de la postura y enterrado. Posteriormente se realizaron dos aplicaciones de urea (46%) a un lado de la planta y enterrado, la primera al estadio V3 y la segunda al estadio V6 de la planta de maíz.

El control de maleza se realizó usando productos químicos (herbicidas), como root out (Glifosato) y en conjunto un control manual y en el que se utilizó machete y azadón.

En el control de plagas se realizó monitoreos diarios en el cultivo de maíz para determinar la incidencia de las plagas en el cultivo, para luego ser contrarrestadas. Las plagas como el gusano cogollero (*spodoptera frugiperda*) se controló con rienda (Deltamethrin, Triazophos).

En el presente experimento se evaluó cinco tratamientos que corresponden a cinco dosis igualmente espaciadas de fertilizante nitrogenado como se describe a continuación en el cuadro 2.

Cuadro 1. Tratamientos usados en el ensayo

	REQUERIMIENTO		REQUERIMIENTO	PRIMERA	REQUERIMIENTO	SEGUNDA	N-APORTADO
	EN KG/HA		EN KG/ HA	APLICACIÓN	EN KG/HA	APLICACIÓN	TOTAL
TRATAMIENTO	12-24-12	N-APORTADO	UREA	N-APORTADO	UREA	N-APORTADO	
T1	0	0	0	0	0	0	0
T2	42	5	46	21	74	34	60
T3	92	11	89	41	148	68	120
T4	133	16	133	61	224	103	180
T5	183	22	178	82	296	136	240

Cada unidad experimental consto de cinco surcos de 5.5 m de longitud distanciados a 0.8 entre surco. El área útil lo constituyeron los tres surcos centrales dejando una postura anterior y posterior como borde.

Los tratamientos evaluados fueron niveles crecientes de nitrógeno para cada unidad experimental, el cual fue distribuido de la siguiente manera:

$$T_1 = 0 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$T_2 = 60 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$T_3 = 120 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$T_4 = 180 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$T_5 = 240 \text{ kg ha}^{-1}$$

Estos tratamientos o niveles de fertilización se aplicaron de forma fraccionada en tres aplicaciones, de la siguiente manera:

La primera aplicación de 12-24-12 al momento de la siembra al lado de la planta y enterrado, la segunda aplicación de urea (46%) los 35 días después de la siembra y la tercera aplicación de urea (46%) a los 45 días después de la siembra.

El diseño experimental que se utilizó fue en bloques completos al azar, con 5 tratamientos y 4 repeticiones. Se realizó un análisis de varianza utilizando el programa estadístico SAS versión 9.1, además se realizó una prueba de tukey y análisis de regresión. Se eliminó el efecto de borda descartando los dos surcos de la orilla de cada unidad experimental y se eliminó el efecto de cabecera descartando las dos plantas al inicio y final de cada fila que no se tomaron en cuenta para la toma de datos. En total quedaron 8 plantas en cada uno de los tres surcos centrales que corresponden al área útil del experimento.

El modelo estadístico es el siguiente

$$Y_{ij} = \mu + \tau + \beta + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

- Y_{ij} = Variable aleatoria observable
- μ = Media general
- τ = Efecto de i – esimo tratamiento
- β = Efecto de bloques o repeticiones
- ϵ_{ij} = Error experimental, distribución normalmente, con promedio cero, varianza y no correlacionados.

Variables evaluadas.

a. Altura de planta

Se tomó midiendo desde la base del tallo a la zona de nacimiento de la espiga o inflorescencia masculina, esto a los 90 y 120 días después de la siembra. Para ello se tomaron diez plantas al azar del área útil de cada unidad experimental, donde haciendo uso de cinta métrica graduada en m calculando una altura promedio.

b. Número de hojas

Se realizó el conteo de hojas de diez plantas al azar del área útil a los 30, 35, 45, 60, 65, 85 días respectivamente. Posteriormente se realizó un conteo de hojas al final del desarrollo de la planta de maíz.

c. Altura de mazorca

Para medir la altura de la mazorca se seleccionaron diez plantas al azar del área útil de cada unidad experimental. Se midió la distancia en m desde la base del suelo hasta la inserción de la mazorca principal, calculándose un promedio (Rodríguez citado por Ayala 2010).

d. Número de mazorcas por planta

Se calculó dividiendo el número de mazorcas totales de cada área útil entre el número de plantas cosechadas por área. Esto se realizó para cada parcela demostrativa y así obtener un dato promedio por parcela demostrativa.

e. Porcentaje de pudrición por mazorca

Se contó el número de mazorcas con un porcentaje de pudrición. Se consideró como una mazorca podrida la suma de los porcentajes de varias mazorcas. Luego esos porcentajes se sumaron y se dividieron por el número de mazorcas seleccionadas y dio un dato promedio de pudrición de mazorca por unidad experimental y tratamientos.

f. Longitud de mazorca

Se tomó una muestra al azar de cinco mazorcas en el área útil de cada parcela, se midieron con regla graduada en cm, la distancia desde la base de inserción de la mazorca hasta el ápice de la misma y se obtuvo un dato promedio de longitud de mazorca por unidad experimental y tratamientos.

g. Diámetro de mazorca

Se tomó las cinco mazorcas utilizadas para la variable longitud de mazorca y se procedió a medir el diámetro de cada una utilizando un pie de rey expresado en mm y luego se obtuvo un promedio.

h. Hileras por mazorca

Se seleccionaron cinco mazorcas del área útil tomadas al azar para cada tratamiento en las cuales se realizó un conteo del número de hileras existentes para obtener un dato promedio.

i. Número de granos por hilera

Esta variable se midió contando el número de granos por hilera de cinco mazorcas del área útil tomadas al azar de cada tratamiento de para obtener un dato promedio.

j. Peso de 100 granos

Se pesaron 100 granos de las cinco mazorcas seleccionadas al azar por cada tratamiento, haciendo uso de una balanza expresada en g. tomando en cuenta que la humedad del grano al momento de la cosecha.

k. Rendimiento del maíz (kg/ha⁻¹)

Consistió en pesar la cantidad de maíz producida por área útil. Para medir el rendimiento se desgranaron todas las mazorcas de la parcela útil depositando en forma separada el grano bueno, malo y el olote para luego pesarlo en forma separada.

El maíz se cosecho cuando había alcanzado una madurez fisiológica y la humedad del grano era aproximadamente 22%, pero el cálculo del rendimiento tomando como base la humedad de almacenamiento de 13%. El índice de desgrane se midió, tomando una muestra al azar de diez mazorcas por tratamiento, se obtuvo el peso del grano con olote y el peso del grano sin olote, al final se calculó el promedio de la muestra.

$$\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{ID} \left(\frac{\text{Peso total del grano bueno}}{\text{Área útil (m}^2\text{)}} \right) * 10000 \text{ m}^2 \left(\frac{100 - \% \text{ de H.G}}{100 - \% \text{ de H.A}} \right)$$

Dónde:

ID: Índice de desgrane

H.G: Humedad del grano en campo

H.A: Humedad del grano al almacenaje (13%).

ID= (Peso del grano sin olote/peso del grano con olote) *100

I. Índice de contenido de clorofila

El nivel de clorofila se determinó a través de los monitoreos que se realizaron haciendo uso del CCM 200 plus. El cual se desarrolló tomando treinta plantas de cada parcela, la cual se tomaba una hoja en el tercio medio de la planta (debido a que allí presenta la mayor concentración de clorofila). En esa hoja se hizo la medición aproximadamente a la mitad de la longitud de la hoja y en el centro de la hoja aproximadamente.

Es importante mencionar que se realizaron cinco mediciones haciendo uso del CCM 200 plus, las cuales se realizaron en diferentes estadios del cultivo. La primera medición al estadio v3, segunda medición al estadio v6, tercera medición al estadio v9, cuarta medición al estadio v12 y la quinta medición al estadio R3.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de planta (m)

El análisis de varianza para la variable altura de la planta resulto altamente significativa ($P < 0.001$) (Anexo 1). En la Figura 1 se observa que el tratamiento con una aplicación de 240 kg ha^{-1} de N, alcanzo la mayor altura con un promedio de 2.13 m, el cual estadísticamente no difiere del promedio alcanzado por el tratamiento al cual se le aplico 180 kg ha^{-1} de N, alcanzando una altura de 2.07 m, y para el testigo (T_0) con una aplicación de 0 kg ha^{-1} de N alcanzo la menor altura con 1.44 m.

Es importante mencionar que el N es fundamental en el crecimiento de la planta de maíz, ya que con una buena aplicación de N tendrá plantas con una crecimiento adecuado, que pueda expresar su potencial de rendimiento, en cambio la ausencia de N da como resultado plantas con una menor altura y esto se verá reflejado en el rendimiento total del cultivo, sino se le aplica la cantidad y forma adecuada de N, no alcanza un buen desarrollo (Zavala 2006).

Bautista (2005), utilizando la variedad dicta guayape en zona de Candelaria, Lempira, encontró la mayor altura de planta con el tratamiento cinco (T_5) donde aplico 160 kg ha^{-1} de N, alcanzando una altura de 2.29 m de altura y el que menor altura presento fue el tratamiento uno (T_1) donde alcanzo 1.87 m de altura. Sin embargo se puede observar una leve diferencia en la presente variable por parte de la variedad dicta guayape, pero esta diferencia se reduce debido a la aplicación de N en la planta, donde influye en su crecimiento vegetativo y reproductivo del cultivo de maíz.

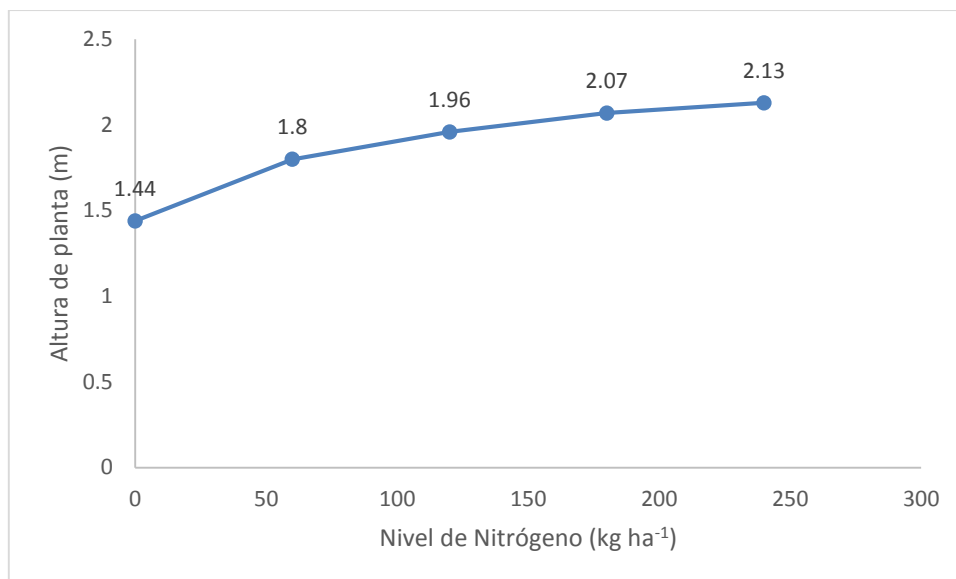


Figura 1. Promedio de altura de planta de planta de maíz según dosis de nitrógeno.

El suministro de N es esencial para el crecimiento óptimo de la planta, debido a que es un elemento imprescindible para la formación de órganos vegetativos. La principal función del nitrógeno es estimular el crecimiento de la planta, especialmente en la etapa inicial de crecimiento vegetativo de la planta de maíz (Molina 2001).

Número de hojas.

Según el análisis de varianza para la variable número de hojas se encontró diferencias altamente significativa ($P < 0.001$) (Anexo 2). En la Figura 2 se observa que el tratamiento con una aplicación de 240 kg ha⁻¹ de N, alcanzo el mayor número de hojas un promedio de 14.0 hojas, en el cual se observa que estadísticamente no difiere con el tratamiento con una aplicación de 180 kg ha⁻¹ de N, este con un promedio de 13.7 hojas.

Existió diferencia estadística entre el tratamiento cuatro (T₄), se observa que el tratamiento con mayor aplicación de N, presenta un mayor número de hojas por planta, esto ocasionando un mayor índice de área foliar, el cual favorece el proceso fotosintético de la planta y esto tiene un efecto positivo en el rendimiento del cultivo de maíz y el tratamiento

cero (T_0) este último con una aplicación de 0 kg ha^{-1} de N con un promedio de 9.7 hojas, siendo menor a la media general que fue de 12.10 hojas.

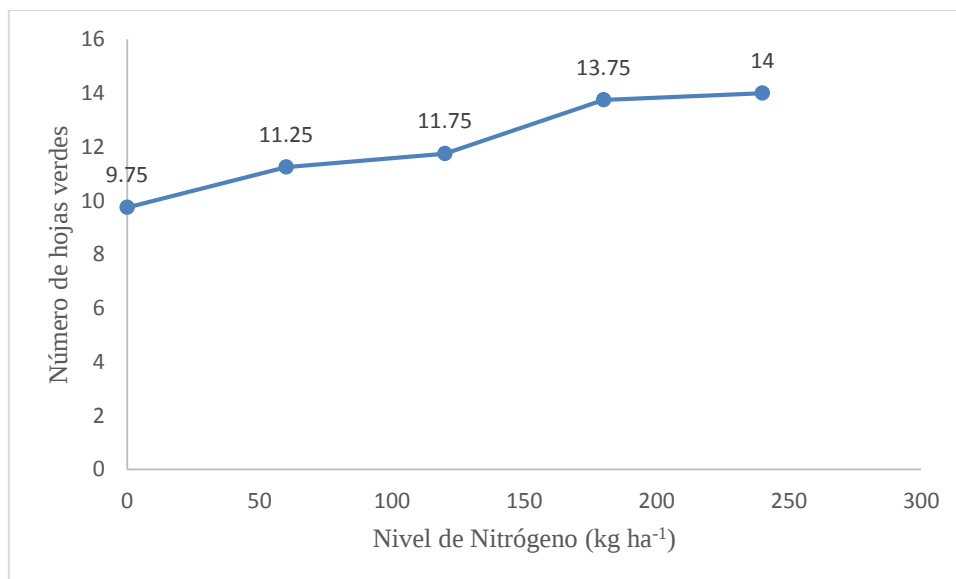


Figura 2. Promedios de número de hojas de planta de maíz según dosis de nitrógeno.

Es importante destacar que los tratamientos con mayor número de hojas también alcanzaron mayor altura de planta y mayor altura de mazorca, de igual manera los tratamientos que alcanzaron menor número de hojas también alcanzaron menor altura de planta y menor altura de mazorca.

Los tratamientos con mayor altura de planta, mayor altura de mazorca y mayor área foliar son los que se les aplicó la mayor dosis de N y los tratamientos con menor altura de planta, menor altura de mazorca, menor área foliar se realizaron aplicaciones mínimas N, es allí donde se puede observar la importancia del N en el desarrollo del cultivo de maíz.

La deficiencia de nitrógeno en plantas disminuye su crecimiento (las hojas son pequeñas y tampoco se puede sintetizar clorofila), es necesario para el proceso fotosintético y forma parte de ello. Los síntomas de carencia de N se manifiestan por un crecimiento lento, con

un color verde pálido a amarillo de las hojas (clorosis) y finalmente quemaduras en los bordes y extremos que empiezan por las primeras hojas (Zavala 2006).

Melendez y Molina (2002) expresan que las hojas y sus partes (peciolos, láminas, fluidos) representan la inversión de los recursos nutricionales de las plantas en procesos fisiológicos directamente ligados a las tasas de intercambio gaseoso (asimilación fotosintética del CO₂, transpiración).

Diámetro de tallo (cm).

Según el análisis de varianza para la variable diámetro de tallo se encontró diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) (Anexo 3). En la Figura 3 se observa que el tratamiento donde se 240 kg ha⁻¹ de N el cual alcanzo el mayor diámetro de tallo con un promedio de 3.75 cm, el cual no difiere estadísticamente del promedio alcanzado por el tratamiento donde se aplicó de 180 kg ha⁻¹ de N con un promedio de 3.05 cm de diámetro.

El tratamiento donde se aplicó 0 kg/ha⁻¹ de N con un promedio de 1.17 cm de diámetro, el tratamiento cero (T₀) está por debajo de la media general que es de 2.67 cm.

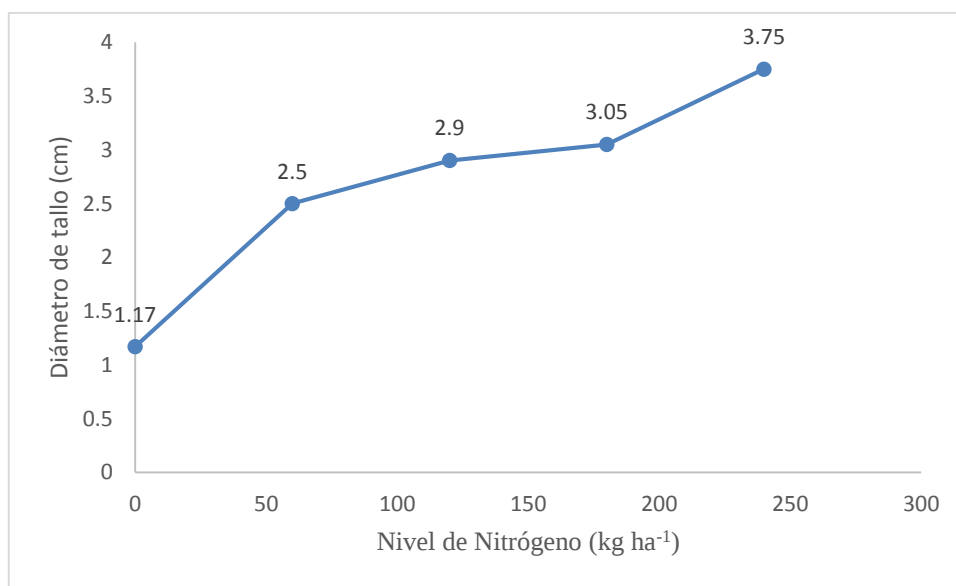


Figura 3. Promedio de diámetro de tallo de planta de maíz según dosis de nitrógeno.

Los tallos constituyen la vía para el tráfico de minerales a larga distancia dentro de las plantas, tanto en el xilema como en el floema, de la raíz al follaje y viceversa. Los tallos representan a la vez un importante consumidor de recursos minerales para sustentar la producción de tejidos vasculares y accesorios, la actividad del cambium y el crecimiento expansivo en especies perennes, y el almacenamiento de reservas (Melendez y Molina 2002).

Altura de mazorca (m).

Para la variable altura de mazorca según el análisis de varianza realizado resulto altamente significativo ($P < 0.001$) (Anexo 4). En la Figura 4 se observa que el tratamiento al cual se aplicó 240 kg ha^{-1} de N alcanzo la mayor altura con un promedio de 1.02 m el cual estadísticamente no difiere del tratamiento al cual se aplicó 180 kg ha^{-1} de N con 0.92 m y el tratamiento donde se aplicó 0 kg ha^{-1} de N alcanzo la menor altura con un promedio de 0.46 m , dato que se encuentra por debajo de la media general que es de 0.82 metros .

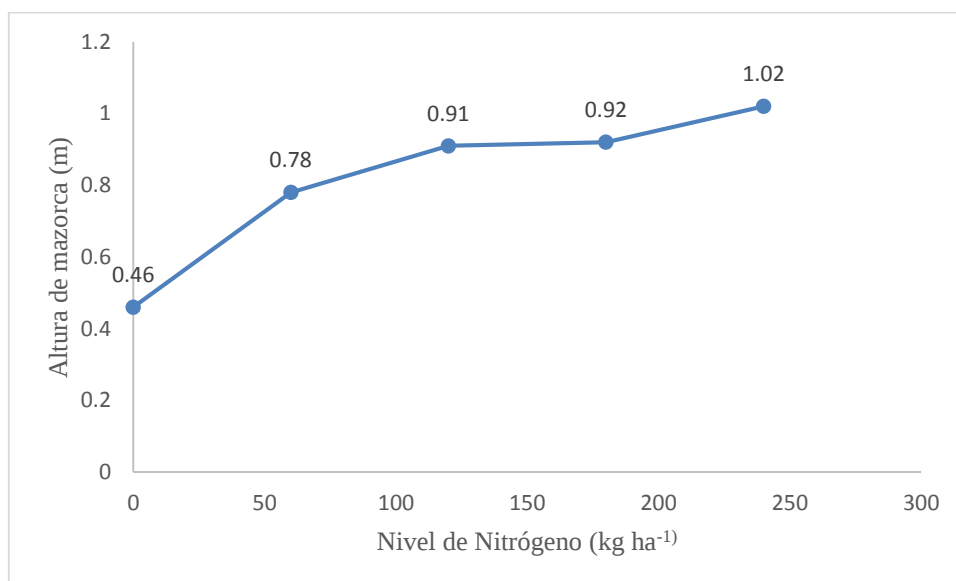


Figura 4. Promedio de altura de mazorca de planta de maíz según dosis de nitrógeno.

La diferencia de altura encontrada entre el tratamiento cuatro (T_4) y el tratamiento cero (T_0 o testigo) es de 0.56 m , una comparación importante es que los dos tratamientos con mayor

altura de planta fueron los que presentaron mayor altura de mazorca; también los tratamientos que presentaron menor altura de planta fueron también los que tuvieron menor altura de mazorca, esto demuestra la importancia del nitrógeno en el cultivo de maíz.

Es importante mencionar que el N es el principal condicionante en el crecimiento del vegetal, debido a que el N al estar disponible, se moviliza por toda la planta encargándose del crecimiento y desarrollo de maíz, en ausencia del N el crecimiento se ve afectado y reducido.

Mazorcas por plantas.

El análisis de varianza para la variable mazorcas por planta se encontró diferencia altamente significativa ($P < 0.001$), (Anexo 5). En la Figura 5, se observa que el tratamiento con 240 kg ha^{-1} de N aplicado, alcanzo el mayor número de mazorcas por planta con un promedio de 1.21 mazorcas por planta, el cual estadísticamente no difiere con el tratamiento que se aplicó 180 kg ha^{-1} de N que este alcanzo un promedio de 1.08 mazorcas por planta.

En cambio el tratamiento cuatro (T_4) fue estadísticamente significativo con el tratamiento con 0 kg ha^{-1} de N aplicado este con un promedio de 0.56 mazorcas por planta. Y donde esta diferencia es debido a las dosis de fertilizante nitrogenado aplicado.

Los tratamientos con mayor contenido de nitrógeno presentaron mayor número de mazorca por planta, de igual manera los tratamientos con menor contenido de nitrógeno presentaron menor número de mazorca por planta, este último debido a que la planta no tiene la cantidad suficiente de nitrógeno para el desarrollo de la mazorca.

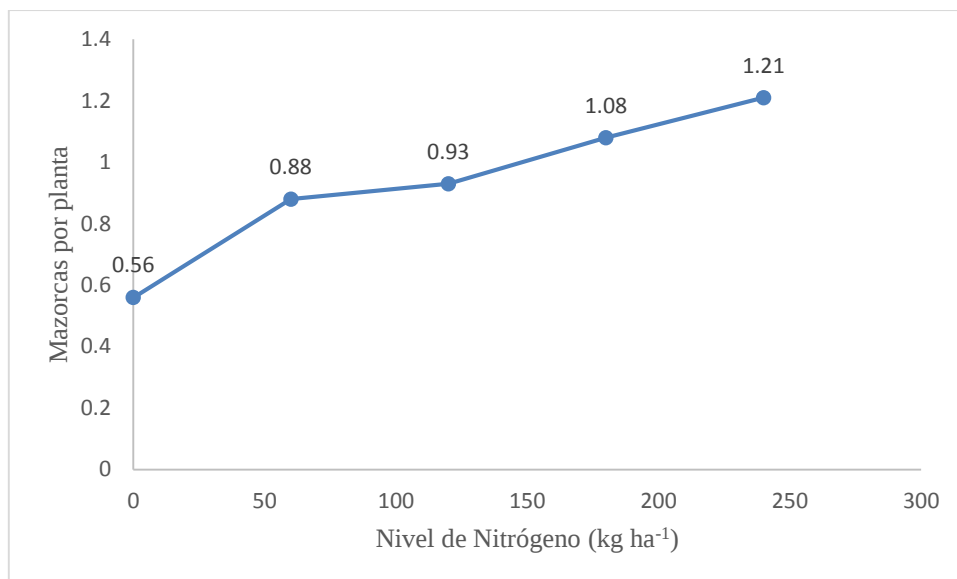


Figura 5. Promedio de mazorcas por plantas de planta de maíz según dosis de nitrógeno.

Según Ayala (2005) utilizando la variedad criolla de maíz olotillo tuza blanca en la zona de Tomalá, Lempira, obtuvo 0.83 mazorcas por planta y 0.70 mazorcas por planta en la zona de Catacamás, Olancho aplicando 203.27 kg ha⁻¹ de fertilizante. Estos datos obtenidos por Ayala (2005) son inferiores a los obtenidos en el presente trabajo de investigación, esto atribuido a la dosis de N aplicado (240 kg ha⁻¹), donde se obtuvo 1.21 mazorcas por planta, ambos estudios utilizaron la misma variedad de semilla criolla (olotillo tuza blanca), lo que difiere es la dosis de N aplicado.

La función del N en la producción de mazorcas por planta, ya que la cantidad de nitrógeno que se mueve de los tejidos vegetativos a la mazorca durante el proceso de llenado del grano varía considerablemente. El nitrógeno depositado en el tallo es el que se moviliza primero hacia la mazorca y la cantidad de nitrógeno movilizado depende del cultivar, cantidad y del momento de la aplicación del nitrógeno. El nitrógeno es el principal macro elemento en formación y calidad del fruto en la planta (Iragorri 2007).

Pudrición de mazorca.

Para la variable pudrición por mazorca el análisis estadístico resulto no significativo, (Anexo 6). En la Figura 6, se observa que el tratamiento al cual se aplicó 0 kg ha⁻¹ de N, presento el mayor porcentaje de pudrición, con un promedio de 11.01 %, seguidamente el tratamiento con 240 kg ha⁻¹ de N aplicado, muestra 6.55% de pudrición y por último y con menor incidencia en porcentaje de pudrición se encuentra el tratamiento con 60 kg ha⁻¹ de N, con un promedio de 5.02 % de pudrición.

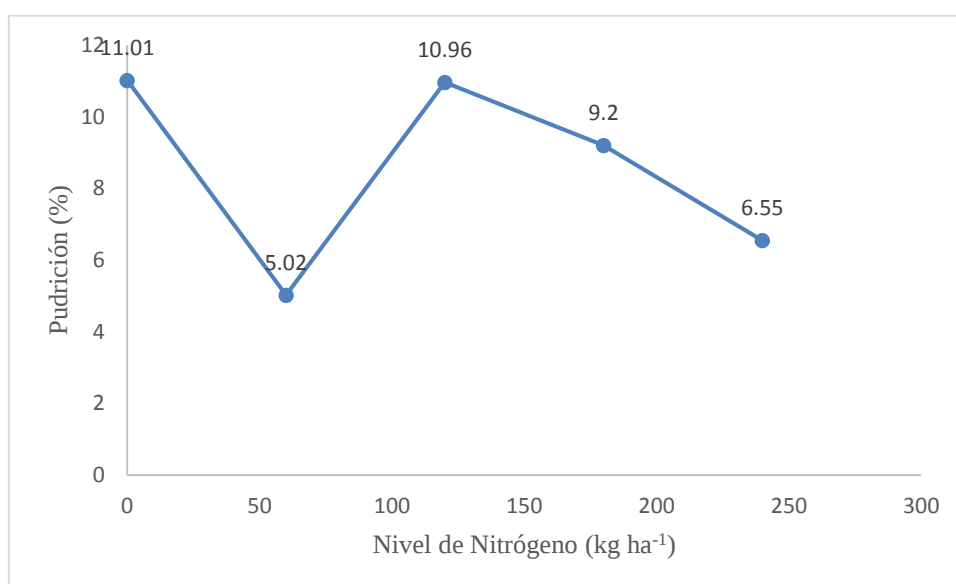


Figura 6. Promedio de pudrición por mazorca de planta de maíz según dosis de nitrógeno.

El tratamiento con ausencia de fertilizante nitrogenado presento los mayores porcentajes de pudrición, lo que nos indica que el cultivo de maíz con ausencia o deficiencia de fertilizante nitrogenado es susceptible a daños en la mazorca.

Es importante mencionar, que el nitrógeno por ser un elemento movilizable dentro de la planta, se distribuye y se encarga de la formación, crecimiento y desarrollo de la mazorca. En caso de deficiencia de N, la mazorca verá comprometida su formación y desarrollo y será altamente susceptible a cualquier daño en el ambiente. Proporciona una nutrición balanceada al cultivo de maíz, disminuye la pudrición de mazorcas (Sánchez s.f).

Longitud de mazorca (cm).

Para la variable longitud de mazorca el análisis de varianza resultó altamente significativa ($P < 0.001$) (Anexo 7). La Figura 7 muestra que el tratamiento con 240 kg ha^{-1} de N, alcanzo la mayor longitud de mazorca con 21.10 cm el cual estadísticamente no difiere con el promedio alcanzado por el tratamiento con 180 kg ha^{-1} de N aplicado, presenta una longitud de mazorca de 19.30 cm y el tratamiento con 0 kg ha^{-1} de N aplicado, alcanzo un promedio de 11.75 cm .

Zavala (2006), utilizo la variedad criolla olotillo en la zona de Olanchito, Yoro, encontrando una longitud de mazorca 15.69 cm en la variedad criolla olotillo donde aplico 50 kg ha^{-1} de N. Observando una mayor longitud de mazorca mayor en el presente trabajo realizado obteniendo una longitud de mazorca de 21.1 cm en la variedad criolla olotillo aplicando 240 kg ha^{-1} , demostrando la importancia del N en la formación del fruto, ya que se utilizó la misma variedad, mostrando cambios en la dosis de fertilizante aplicado.

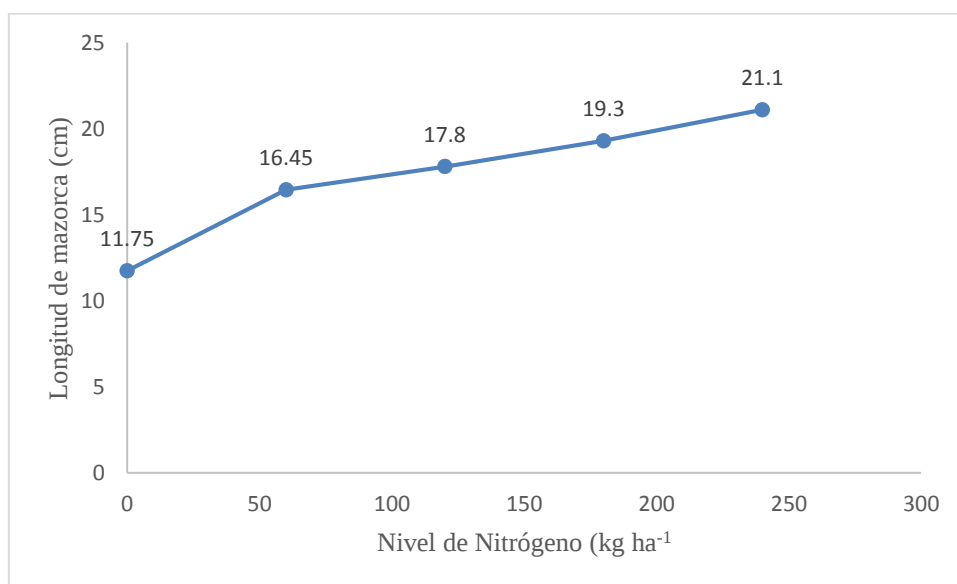


Figura 7. Promedio de longitud de mazorca de planta de maíz según la dosis de nitrógeno.

Diámetro de mazorca (cm).

El análisis de varianza para la variable diámetro de mazorca resulto altamente significativo ($P < 0.001$), (Anexo 8). En la Figura 8, se observa que el tratamiento donde se aplicó 240 kg ha^{-1} de N, alcanzo el mayor diámetro con un promedio de 4.30 cm , el cual estadísticamente no difiere con el tratamiento con 180 kg ha^{-1} de N con 4.05 cm .

El tratamiento cero (T_0) se aplicó 0 kg ha^{-1} de N, obtuvo un promedio de 2.85 cm , esto debido a que el tratamiento cero (T_0 o testigo) no se realizó ninguna aplicación de fertilizante nitrogenado, en cambio el tratamiento cuatro (T_4) se realizaron las máximas aplicaciones de fertilizante nitrogenado.

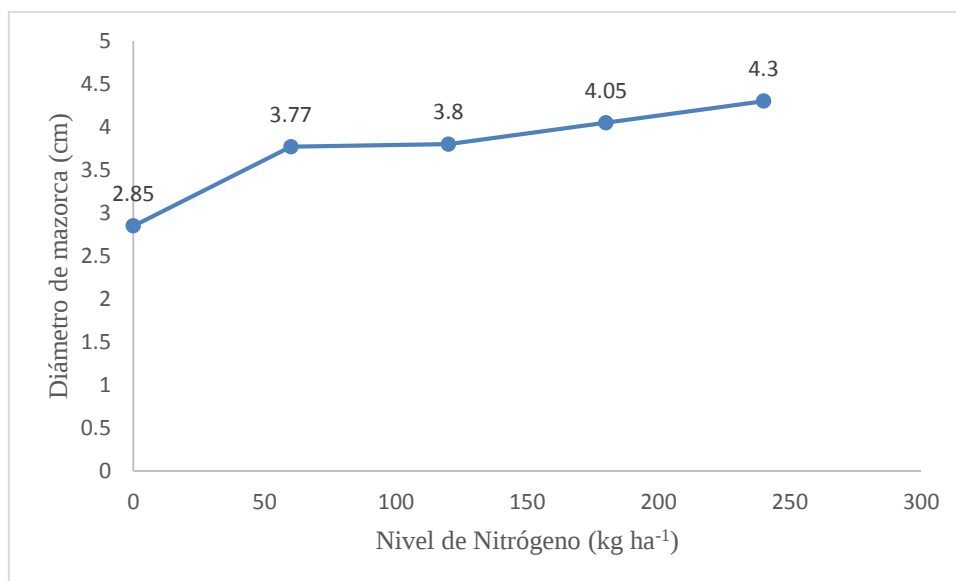


Figura 8. Promedio de diámetro de mazorca de planta de maíz según dosis de fertilizante nitrogenado.

Ayala (2005) utilizó la variedad criolla olotillo tuza blanca en la zona de Tomalá, Lempira, obteniendo un diámetro de mazorca de 3.99 cm aplicando $203.27 \text{ kg ha}^{-1}$ de N y utilizando la misma variedad en la zona de Catacamas, Olancho obtuvo mazorcas con 3.94 cm de diámetro. Estos datos mencionados se encuentran por debajo de los obtenidos en el

presente trabajo de investigación, ya que utilizando la misma variedad de semilla criolla (olotillo) se obtuvo mazorcas de 4.3 cm de diámetro, aplicando 240 kg ha⁻¹ de N.

Un adecuado nivel de nitrógeno en los tejidos se traduce en lograr plantas vigorosas de buen tamaño, con una buena coloración un verde, bien ramificadas, con flores bien desarrolladas y frutos de buen tamaño (Yanes 2002).

Hileras por mazorca.

Para la variable hileras por mazorca el análisis de varianza resulto significativo ($P < 0.05$), (Anexo 9). En la Figura 9 se observa que el tratamiento con 240 kg ha⁻¹ de N aplicado, alcanzo el mayor número de hileras por mazorca con un promedio de 13.5 hileras por mazorca y el tratamiento donde se aplicó 0 kg ha⁻¹ de N, obtuvo un promedio de 10.9 hileras por mazorca, con 2.6 hileras por mazorca menos que el tratamiento cuatro (T₄) y con 1.71 hileras por mazorca por debajo de la media general, esto atribuido a la fertilización nitrogenada que tiene un impacto en la formación de la mazorca.

La punta de la mazorca no está completamente llena, no se desarrolla grano o sólo muy poco en los últimos cms de la punta de la mazorca. Los granos de la punta de la mazorca abortan en las etapas de formación y de maduración. Usualmente se asocia con pobre fertilización de los óvulos en la punta. Tanto los óvulos sin fertilizar como los granos abortados pueden tener la apariencia de deshidratados y encogidos, pero el grano abortado a menudo también presenta un color amarilloso, causado por condiciones estresantes durante el inicio del desarrollo de grano, incluyendo sequía severa y altas temperaturas, deficiencia de nitrógeno (PIONEER 2007).

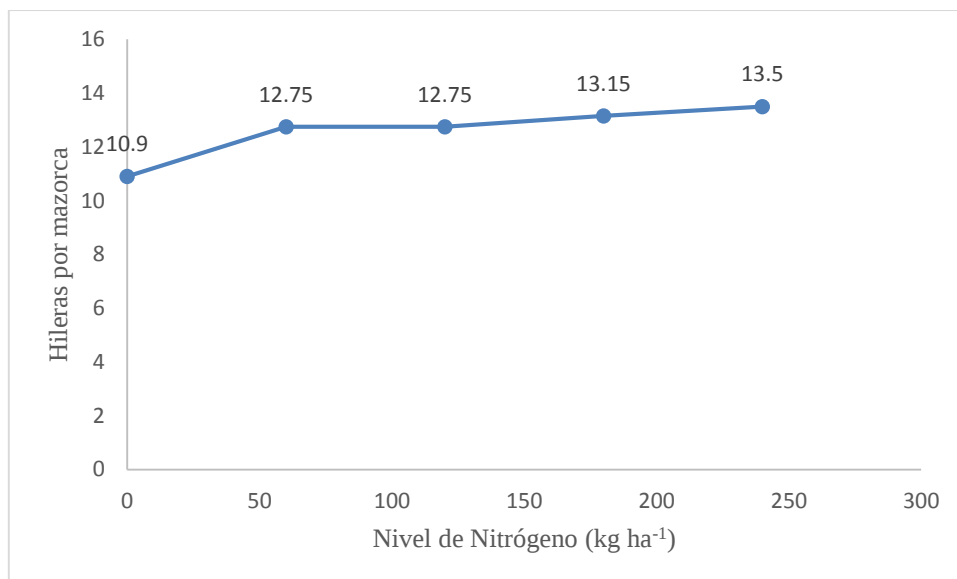


Figura 9. Promedio hileras por mazorca de planta de maíz según la dosis de fertilizante nitrogenado.

Bautista (2005), utilizando la variedad dicta guayape en la zona de Candelaria, Lempira encontró que el mayor número de hileras por mazorca se presentó en el tratamiento donde aplico 200 kg ha⁻¹ de N, encontrando 12.80 hileras por mazorca y el que presento menos hileras por mazorca fue el tratamiento donde aplico 120 kg ha⁻¹ de N, obteniendo 12.13 hileras por mazorca. Observándose que en el presente trabajo de investigación se obtuvo un número mayor de hileras por mazorca y utilizando una variedad de semilla con menores rendimientos que la utilizada por Bautista, lo que demuestra que el N tuvo un efecto en la formación de hileras por mazorca.

Granos por hilera.

El análisis de varianza para la variable granos por hilera resulto altamente significativa ($P < 0.001$), (el Anexo 10). En la Figura 10, se observa que el tratamiento con 240 kg ha⁻¹ de N aplicado, encontrándose el mayor número de granos por hilera con un promedio de 40.25 granos por hilera, el cual no difiere estadísticamente con ningún tratamiento, excepto con el tratamiento cero (T_0 o testigo).

Además el tratamiento donde se aplicó 0 kg ha^{-1} de N, que expreso un número de granos por hilera promedio de 22.6, lo que indica que en tratamiento cero (T_0 o testigo) se vio afectado por la falta o ausencia de fertilizante nitrogenado y por ella su bajo promedio de granos por hilera, además el N es el principal nutriente para la formación y llenado de granos en la mazorca de maíz.

Zavala (2006), utilizando la variedad criolla olotillo en la zona de Olanchito, Yoro, encontró 36.47 granos por hilera aplicando 100 kg ha^{-1} de fertilizante, observándose mayor número de granos por hilera (40.25) en el presente trabajo de investigación, el cual se trabajó con la misma variedad, donde se aplicó 240 kg ha^{-1} , donde muestra mayor número de granos por hilera a mayor aplicación de N.

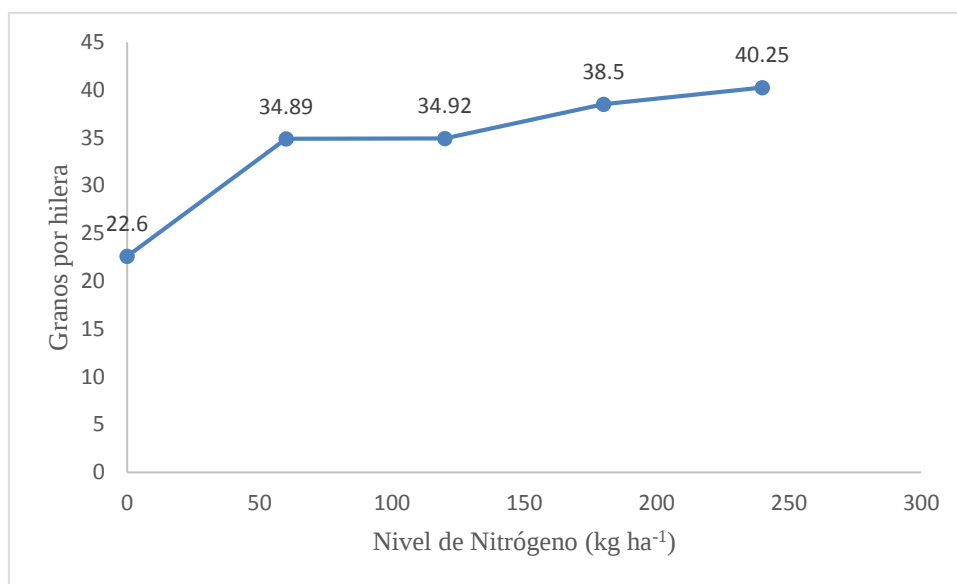


Figura 10. Promedio de granos por hilera de planta de maíz según dosis de fertilizante nitrogenado.

El N es el principal nutriente en la formación del grano de maíz, ya que se encuentra estrechamente relacionado con la formación de proteínas y el contenido de azúcares y almidones que son los componentes principales del grano de maíz (Korsakov 2008).

Peso de cien granos (g).

La variable peso de cien granos según el análisis de varianza resulto altamente significativo ($P < 0.001$), (Anexo 11). En la Figura 11 se observa que el tratamiento con 240 kg ha⁻¹ de N aplicado, alcanzó un peso promedio de 41.37 g, el cual estadísticamente no difiere con el tratamiento con 180 kg ha⁻¹ de N aplicado y tratamiento donde se aplicó 120 kg ha⁻¹ de N, con un peso promedio de 40.22 g y 38.85 g respectivamente y el tratamiento con una aplicación de 0 kg ha⁻¹ de N, alcanzo un promedio de 35.02 g, encontrándose 6.35 g menos que le tratamiento cuatro (T₄), se puede observar que al no aplicar fertilizante nitrogenado influye en el peso del grano de maíz.

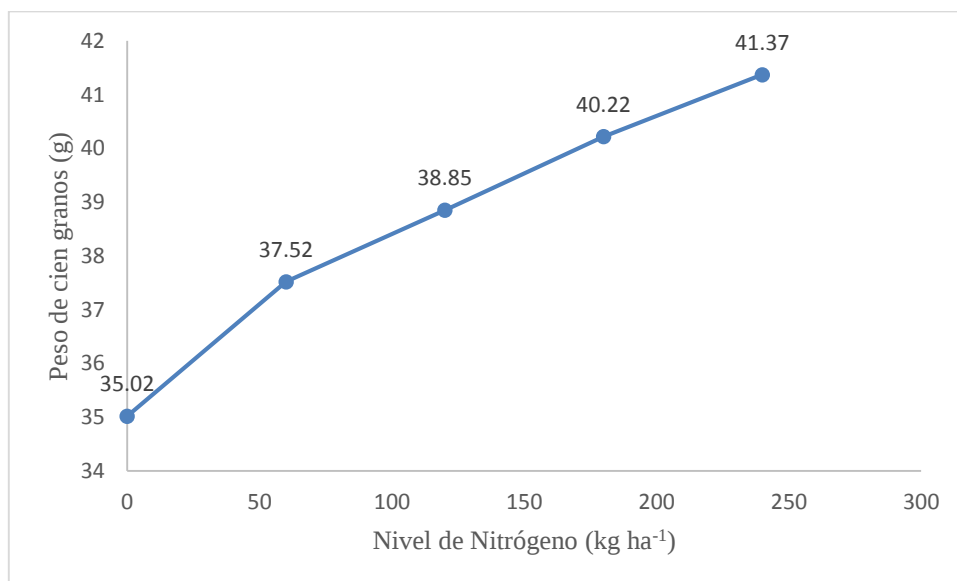


Figura 11. Promedio de peso de cien granos de planta de maíz según dosis de fertilizante nitrogenado.

El peso individual del grano de las gramíneas está definido por la duración del periodo comprendido entre la polinización y la madurez fisiológica, al cual se le conoce como periodo de llenado del grano, que es el periodo en el cual se acumula biomasa en el grano y

por la tasa de acumulación de dicha biomasa, la cual es el determinante del peso individual del grano (López, *et al*, 2000).

Biomasa seca aérea (kg/ha⁻¹).

El análisis de varianza para la variable biomasa resulto altamente significativa ($P < 0.001$), (Anexo 12). En la Figura número 12, se observa que el tratamiento con 240 kg/ha⁻¹ de N, alcanzo el promedio más alto con 10796 kg ha⁻¹ de biomasa, el cual estadísticamente no difiere con el tratamiento al cual se le aplico 180 kg ha⁻¹ de N, con 9020 kg ha⁻¹ y el tratamiento con 120 kg ha⁻¹ de N aplicado, con 8736 kg ha⁻¹ de biomasa.

Seguidamente el tratamiento donde se aplicó 0 kg ha⁻¹ de N, con un peso promedio 2912 kg ha⁻¹ de biomasa, con 7884 kg ha⁻¹ menos que el tratamiento cuatro (T₄) y 4729 kg ha⁻¹ de biomasa por debajo de la media general, el bajo rendimiento de biomasa es atribuido a la deficiencia de fertilizante nitrogenado en el cultivo de maíz.

Nolasco (2005), utilizando una variedad de maíz dulce en la zona de Catacamas, Olancho, encontró mayor rendimiento de biomasa con 7954.54 kg ha⁻¹ y la menor cantidad el T₁ (Sin fertilizante) con 1345.45 kg ha⁻¹ de biomasa, esto se debe a que el suelo no tenía suficientes nutrientes principalmente nitrógeno para que la planta tuviera un mejor desarrollo foliar. Observando que el que la biomasa obtenida en el presente trabajo de investigación es superior a la expuesta anteriormente, esto debido a la dosis de fertilizante nitrogenado aplicada y por ende mayor rendimiento de biomasa total.

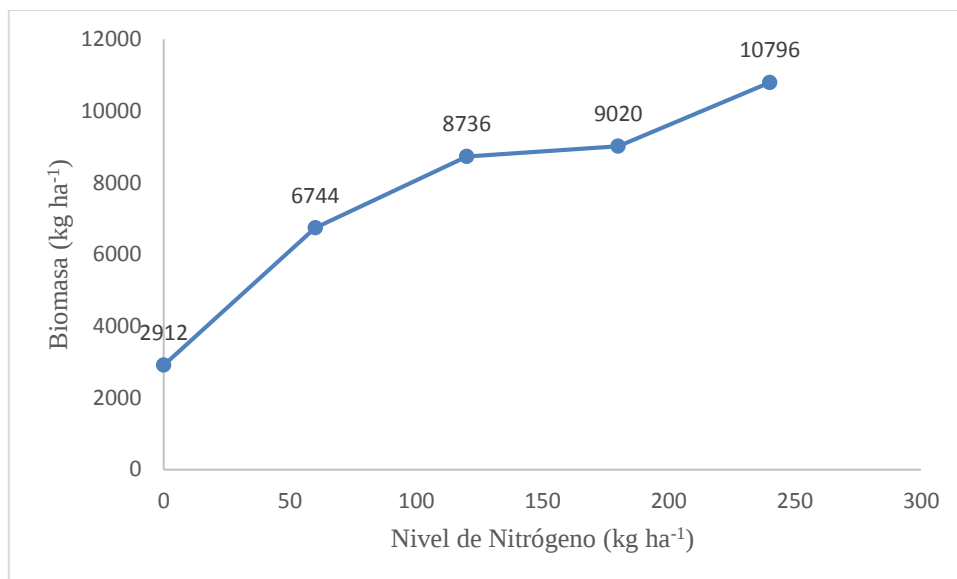


Figura 12. Promedio biomasa de planta de maíz según dosis de fertilizante nitrogenado.

Bautista (2005), obtuvo el mayor contenido de biomasa con 6581.8 k ha⁻¹ de biomasa aplicando 120 kg ha⁻¹ de N y el menor contenido de biomasa lo obtuvo aplicando 40 kg ha⁻¹ de N, con 4727 kg ha⁻¹ de biomasa. Obteniendo mayor rendimiento de biomasa en el presente trabajo de investigación (10796 kg ha⁻¹) debido a aplicar mayor dosis de N (240 kg ha⁻¹) a la planta de maíz.

López, *et al*, (2000), asegura que la biomasa total está estrechamente relacionado con el contenido de N de la planta, ya que es el N el principal nutriente en la formación de tallos, hojas, mazorcas y dentro de ello forma parte de aminoácidos, celulosa, proteínas, ácido nucleico, almidón, lípidos, además favorece la multiplicación celular que conformar cada estructura de la planta de maíz.

Peso de mazorca sin tuza (kg/ha⁻¹).

Para la variable mazorca sin tuza el análisis de varianza altamente significativa ($P < 0.001$) (Anexo 15). En la Figura 15, se observa que el tratamiento con 240 kg ha⁻¹ de N aplicado,

alcanzo el mayor peso con un promedio de 504 2.5 kg ha⁻¹, el cual estadísticamente no difiere con el resto de los tratamientos, excepto con el tratamiento cero (T₀).

El tratamiento donde se aplicó 0 kg ha⁻¹ de N, obtuvo un peso promedio de 1988.8 kg ha⁻¹, cabe mencionar que el peso de la mazorca de maíz está completamente relacionada con la aplicación de fertilizante nitrogenado que esta tenga. Se observa a menor dosis de N aplicado el peso de mazorca será menor y a mayor dosis de fertilizante mayor peso de mazorca, es por ello que el N es el principal factor en el peso de mazorca de maíz.

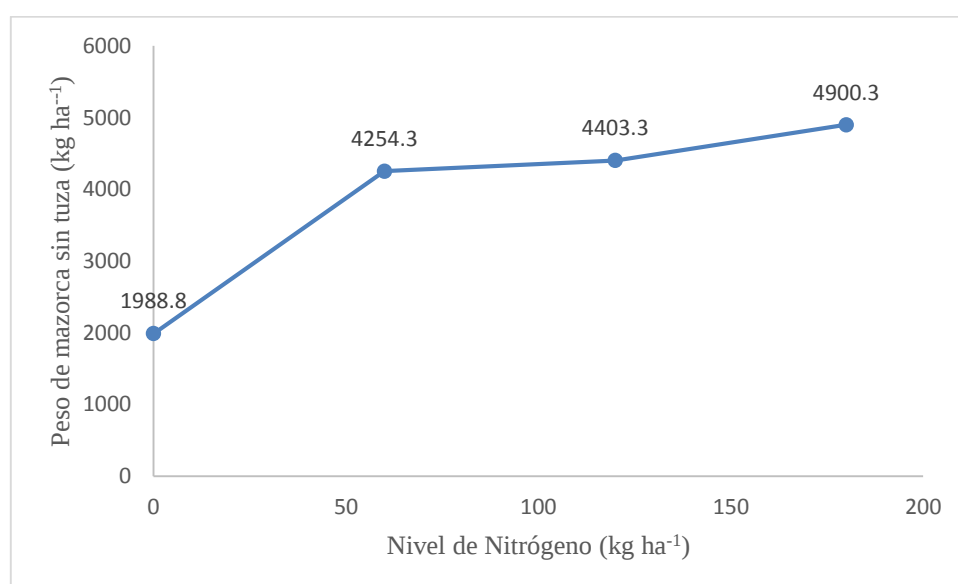


Figura 15. Promedio peso de mazorca sin tuza de planta de maíz según dosis de fertilizante nitrogenado.

Ayala (2010), utilizando la variedad criolla de maíz olotillo tuza blanca en Tomala, Lempira, encontró el peso de mazorca de 3457 kg ha⁻¹, aplicando 100 kg ha⁻¹ de N y en la zona de Catacamas, Olancho encontró un peso de mazorca de 3449.48 kg ha⁻¹ aplicando 100 kg ha⁻¹ de N. Observando un rendimiento en el peso de mazorcas en las dos zonas anteriormente mencionadas menor a la obtenida en el presente trabajo de investigación, debido a la aplicación de N, ya que se utilizó la misma variedad criolla de maíz, donde se

obtuvo un rendimiento de mazorca de 5042.5 kg/ha⁻¹ aplicando 240 kg ha⁻¹ de N en la planta.

Rendimiento de maíz (kg/ha⁻¹)

El análisis de varianza para la variable peso de maíz resulto altamente significativa ($P < 0.001$), (Anexo 16). En la Figura 16, se observa que el tratamiento donde se aplicó 240 kg ha⁻¹ de N, alcanzo el más alto peso promedio con 2869 kg/ha⁻¹, el cual estadísticamente no difiere con el tratamiento con 180 kg/ha⁻¹ de N, obteniendo un peso de 2600 kg/ha⁻¹.

En cambio, el tratamiento cero (T_0 o testigo) con un peso promedio de 605 kg ha⁻¹, donde esta presenta un comportamiento de 2264 kg ha⁻¹ menos que el tratamiento cuatro (T_4) y con 1554.36 kg ha⁻¹ por debajo de la media general,

Ayala (2010), utilizando la variedad criolla de maíz olotillo tuza blanca en la zona de Tomala, Lempira, obteniendo un rendimiento de 2127.3 kg ha⁻¹ aplicando 203.27 kg ha⁻¹ de N y en la zona de Catacamas, Olancho, obtuvo 2107.4 kg ha⁻¹ utilizando la misma variedad y dosis de N. Observándose rendimientos menores obtenidos en el presente trabajo, donde se obtuvieron 2869 kg/ha⁻¹ de rendimiento de maíz, utilizando la misma variedad criolla (olotillo), con la diferencia de aplicación de N, aplicando 240 kg/ha⁻¹ de N.

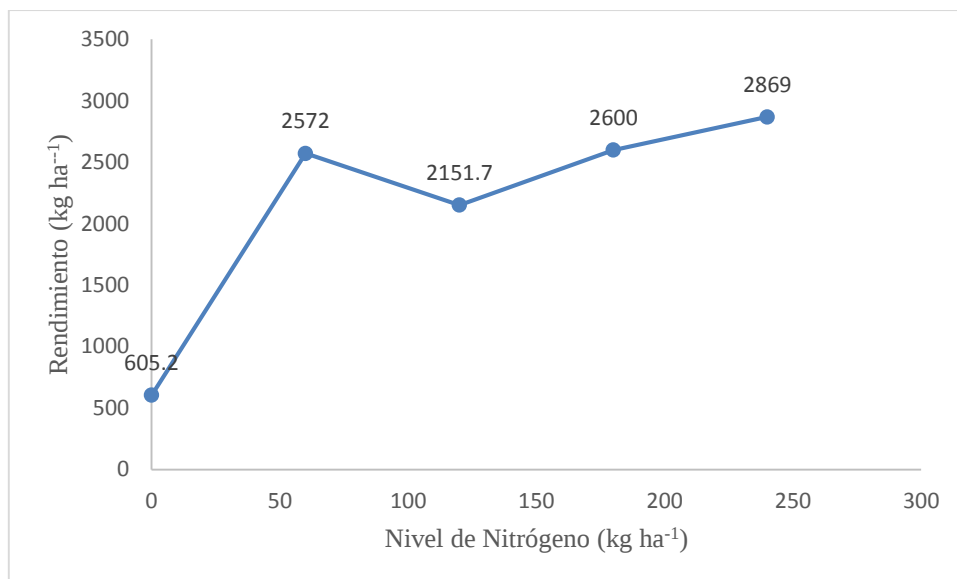


Figura 16. Promedio de rendimiento de maíz según dosis de fertilizante nitrogenado.

El rendimiento de los cultivos está basado inicialmente en la disponibilidad de nutrientes en el suelo. El N está relacionado directamente con el proceso fotosintético, forma parte de la clorofila en la planta, formación y desarrollo de las diferentes estructuras vegetativas de la planta, es el principal nutriente responsable de la formación del grano y es por ello un deficiente o un óptimo suministro de N tendrán un impacto en el rendimiento del maíz (Salas 2002).

Índice de contenido de clorofila.

Para el nivel de clorofila se realizaron cinco tomas de datos en diferentes estadios del cultivo, la primera se realizó aproximadamente al estadio V3 de la planta de maíz (Figura 18), la segunda medición al estadio V6 (Figura 19), tercera medición al estadio V9 (Figura 20), cuarta medición al estadio V12 (Figura 21) y la quinta medición al estadio R3 (Figura 22) de la planta de maíz. Los cuales se describen en las siguientes figuras.

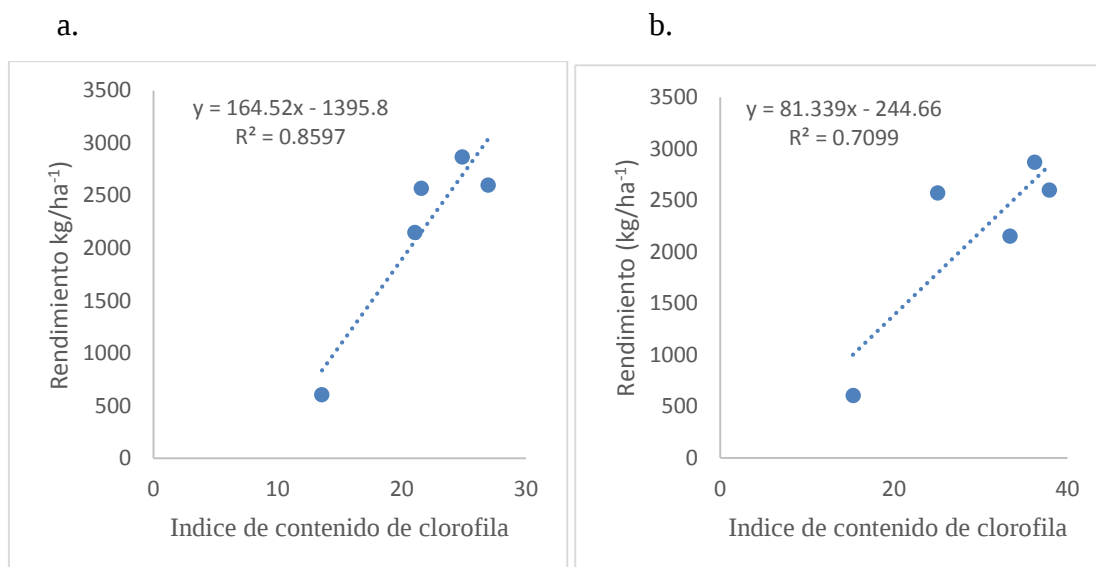


Figura 17. Relación entre el índice de contenido de clorofila en el estadio V3 (a) y en el estadio V6 (b) con el rendimiento (kg ha^{-1}).

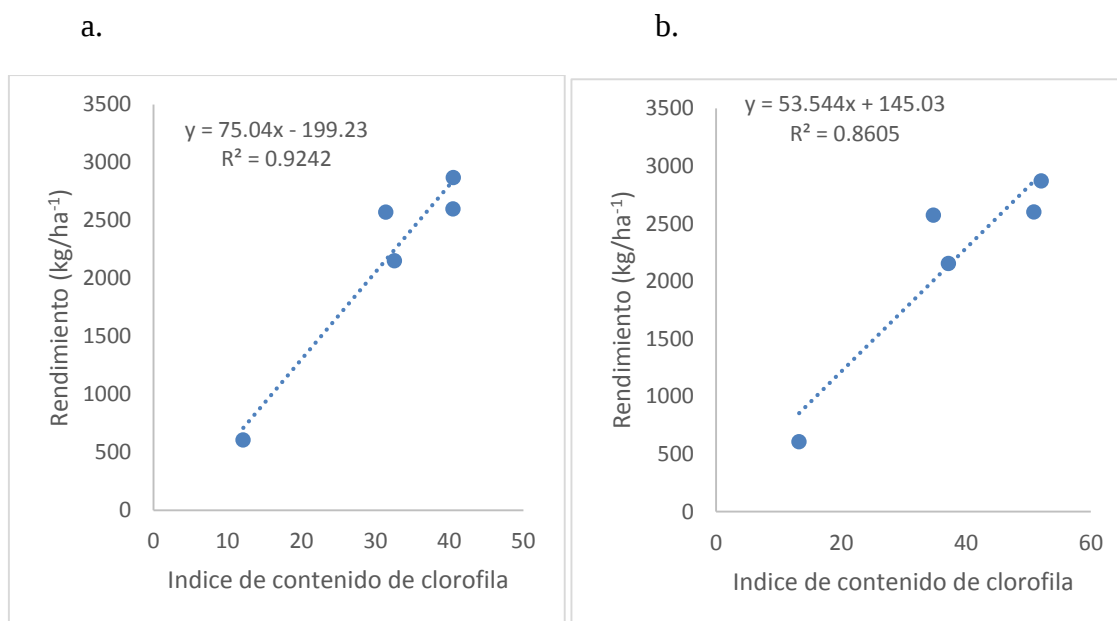


Figura 18. Relación entre el índice de contenido de clorofila estadio V9 (a) y el estadio V12 (b) con el rendimiento (kg ha^{-1}).

C.

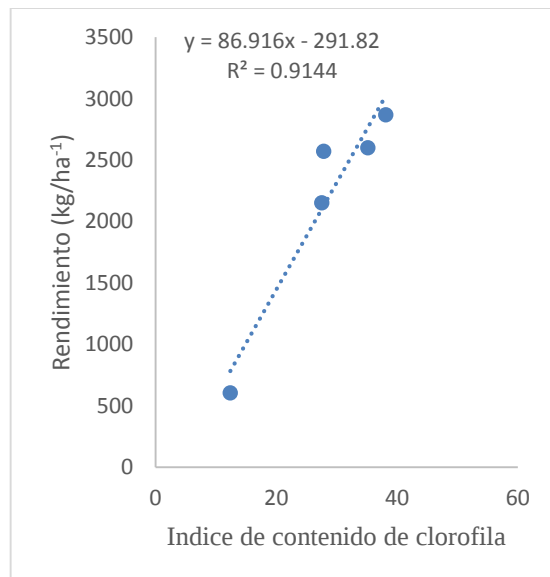


Figura 19. Relación índice de contenido de clorofila en estadio R3 y rendimiento de maíz (kg ha⁻¹).

Según los resultados del análisis de regresión resulto significativo ($P < 0.05$) lo cual indica que hay una relación entre el índice de contenido de clorofila y el rendimiento del cultivo.

En la Figura 17 (a) se observa que a valores bajos de índice de contenido de clorofila, comprenden valores bajos del rendimiento del cultivo y valores altos del índice de contenido de clorofila aumenta el valor real del rendimiento del cultivo (para todas las figuras). La ecuación de regresión lineal simple indica que cuando el índice de clorofila es igual a cero, el rendimiento del cultivo es igual a -1396 aunque este valor no tiene sentido desde el punto de vista agrícola, este rendimiento se incrementa a 164.5 kg/ha⁻¹ por cada unidad de incremento en el índice de contenido de clorofila. El modelo estadístico de acuerdo en el R^2 explica un 86% de la variabilidad observada.

En la Figura 17 (b) se observa que la ecuación de regresión lineal simple indica que cuando el índice de clorofila es igual a cero, el rendimiento del cultivo es igual a -244.7 aunque este valor no tiene sentido desde el punto de vista agrícola, este rendimiento se incrementa a 81.34 kg/ha⁻¹ por cada unidad de incremento en el índice de contenido de clorofila. El modelo estadístico de acuerdo en el R^2 explica un 71% de la variabilidad observada.

En la Figura 18 (a) se observa que la ecuación de regresión lineal simple indica que cuando el índice de clorofila es igual a cero, el rendimiento del cultivo es igual a -199.2 aunque este valor no tiene sentido desde el punto de vista agrícola, este rendimiento se incrementa a 75.04 kg/ha⁻¹ por cada unidad de incremento en el índice de contenido de clorofila. El modelo estadístico de acuerdo en el R² explica un 92.4% de la variabilidad observada.

En la Figura 18 (b) se observa que la ecuación de regresión lineal simple indica que cuando el índice de clorofila es igual a cero, el rendimiento del cultivo es igual a 145, este rendimiento se incrementa a 53.54 kg/ha⁻¹ por cada unidad de incremento en el índice de contenido de clorofila. El modelo estadístico de acuerdo en el R² explica un 86.1% de la variabilidad observada.

En la Figura 19 se observa que la ecuación de regresión lineal simple indica que cuando el índice de clorofila es igual a cero, el rendimiento del cultivo es igual a -291.8 aunque este valor no tiene sentido desde el punto de vista agrícola, este rendimiento se incrementa a 86.92 kg/ha⁻¹ por cada unidad de incremento en el índice de contenido de clorofila. El modelo estadístico de acuerdo en el R² explica un 91.4% de la variabilidad observada.

El análisis de regresión que explica mejor el rendimiento del cultivo en función del índice del contenido de clorofila es aquel en donde se realizó la medición en el estadio V9, ya que el coeficiente de determinación fue el más alto con 92.4%. Esta ecuación puede ser utilizada para predecir el rendimiento del cultivo en función del índice de contenido de clorofila.

El coeficiente de determinación (R²) indica si el modelo propuesto es adecuado o no para estudiar la variable rendimiento. El R² demuestra que la variación del rendimiento es explicado por la variable índice de contenido de clorofila por medio de la ecuación de regresión estimada. Cuanto más próximo de la unidad estuviese el valor de R², mejor será el ajuste del modelo de regresión a los puntos del diagrama de regresión.

En las plantas de maíz, el contenido de N foliar y el contenido de clorofila medido mediante el clorofilometro CCM 200 plus están positivamente correlacionadas, la clorofila en la hoja está estrechamente relacionada con la concentración de N y por lo tanto, refleja el estado nutricional y rendimiento con respecto a este importante nutriente (Castillo 2009).

Castillo (2009), utilizando el híbrido Monsanto Dk 670, el ensayo fue conducido durante el ciclo 2008/09 en la localidad de Wheel Wright, departamento general López en el sur de Santa Fe, Colombia, obteniendo que Las lecturas del CCM 200 plus fueron sensibles a diferencias en la intensidad de verdor, y correlacionaron en forma significativa y con buen ajuste con los rendimientos y la respuesta a Nitrógeno. Observando que entre el trabajo anteriormente mencionado y el presente existe una similitud, ya que ambos presentan una relación significativa, entre el índice de verdor (índice de contenido de clorofila) y el rendimiento.

VI. CONCLUSIONES

En las plantas de maíz, el contenido de N foliar y el contenido de clorofila están positivamente correlacionadas, la clorofila en la hoja está estrechamente relacionada con la concentración de N y por lo tanto, refleja el estado nutricional y rendimiento con respecto a este importante nutriente.

Las dosis igualmente espaciadas de N aplicadas a la planta, tuvo un resultado significativo, ya que cada dosis aplicada tuvo diferente rendimiento, además aplicando dosis mayores de N así fueron los rendimientos obtenidos por parcela.

Según el análisis de regresión realizado para evaluar el rendimiento con el índice de contenido de clorofila, resultó altamente significativo, lo que indica una relación directa entre el índice de verdor de la planta y el rendimiento del grano de la planta de maíz.

VII. RECOMENDACIONES

Utilizar análisis de suelo ya que los resultados indican la cantidad de nitrógeno que aporta el suelo y si debemos aplicar, la cantidad de N que se debe aplicar, de esta manera reducimos costos y el cultivo se aplica lo que realmente este necesita para obtener los mejores rendimientos.

Utilizar como fuente de nitrógeno la aplicación de 12-24-12 y urea (46%), en las dosis recomendadas y en el momento óptimo para su mejor absorción, funcionamiento y obtengamos los mejores rendimientos en el cultivo de maíz.

Realizar análisis foliar en diferentes estadios del cultivo para determinar si las características foliares que presenta están relacionadas con el contenido de N en la planta de maíz.

Implementar el SPAD nitrógeno para monitorear el contenido de clorofila y estimar el rendimiento en el cultivo de maíz en la agricultura de nuestro país.

VIII. BIBLIOGRAFIA

Arregui, LM, Baroja, E, Maeztu, I. 2000-2003. Optimización de la fertilización nitrogenada mediante el uso de medidores de clorofila. (En línea) 26 de mayo del 2013. Disponible en: www.navarraagraria.com/n150/artester.pdf

Bautista del cid, 2005 Respuesta de maíz (*Zea mays sacharata*) a diferentes niveles de fertilizante en suelos de ladera de la zona de Candelaria, Lempira, Tesis Lic. Ing. Universidad Nacional de Agricultura. Honduras, Catacamas, Olancho.

Castillo A. R, Ligarreto G. A 2010. Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria. (En línea). Consultado el 25 de mayo del 2013. Pag. 122-128. Disponible en: <http://www.corpoica.org.co/sitioweb/archivos/revista/nitrogenofoliar.pdf>

Castillo, A. R, Ligarreto, G. A Artículo científico. (En línea) Consultado el 25 de mayo del 2013. Disponible en: www.corpoica.org.co/sitioweb/archivos/revistas/nitrogenofoliar.pdf

Cultivo maíz.1993. Cultivo de maíz. (En línea) Consultado el 25 de mayo del 2013. Disponible en: www.rediaf.net.do/publicaciones/guias/download/maiz.pdf

Ferraris G. N 2005. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz: Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. (En línea). Consultado el 25 de mayo del 2013. Disponible en:

[http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/B5B2034B84BF8FF6852579950075F445/\\$FILE/19.pdf](http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/B5B2034B84BF8FF6852579950075F445/$FILE/19.pdf)

_____, **Couretot, L.** 2010. Fertilización. INTA. (En línea) 26 de mayo del 2013. Disponible en: www.agromercado.com.ar/pdfs/157_maiz_10.pdf

Ferrufino, B 2011. Evaluación de fuentes de nitrógeno y su efecto en el comportamiento agronómico y rendimiento del cultivo de maíz. Tesis. Ing. Universidad Nacional de Agricultura. Honduras. Catacamas, Olancho. 3-9 P.

García F. O 2006. La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. En: Informaciones Agronómicas 29: 13 – 16. (En línea). Citado el 14 de mayo del 2013. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/iaacs.nsf/0/FD79EAE02D7978578525799500775CC6/\\$FILE/5.pdf](http://www.ipni.net/publication/iaacs.nsf/0/FD79EAE02D7978578525799500775CC6/$FILE/5.pdf)

Gasteiz V, 2007. Desarrollo de un sistema de fertilización nitrogenada racional en trigo blando de invierno bajo condiciones de clima mediterráneo húmedo / M^a Arritokieta Ortuzar Irigorri. - 1^a ed. Vasco, 2007. (En línea) Consultado el 26 de mayo del 2013. Disponible en: http://www.nasdap.ejgv.euskadi.net/r50-public2/es/contenidos/informe_estudio/tesis_doctorales/es_agripes/adjuntos/tesis_doctoral60.pdf

Gear J. 2006. Maíz y nutrición. Ilsi Argentina. (En línea) 25 de junio del 2013. Disponible en: www.agroestrategias.com/pdf/cultivos%20-%20fertilizacion%20de%20maiz.pdf

Iragorri A. 2007. Tesis doctoral. Universidad del País Vasco. (En línea) Consultado el 26 de mayo del 2013. Disponible en: www.nasdap.ejgv.euskadi.net/r50-public2/es/contenidos/informe_estudio/tesis_doctorales/es_agripes/adjuntos/tesis_doctoral

Korsakov. 2008. Destino del nitrógeno del fertilizante. (En línea) Consultado el 26 de noviembre del 2013. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/E753B6895A8029FC8525799500775BBC/\\$FILE/1.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/E753B6895A8029FC8525799500775BBC/$FILE/1.pdf) en un cultivo de maíz

López, et al, 2000. Componentes de crecimiento de grano de línea de maíz de peso contraste del grano. (En línea). Consultado el 30 de noviembre del 2013. Disponible en: <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/23-1/14a.pdf>

Melendez y Molina. 2002. Fertilización foliar: principio y aplicaciones. (En línea) Consultado el 30 de noviembre del 2013. Disponible en: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Curso%20Fertilizaci%C3%B3n%20Foliar.pdf>

Morales, M.F. 2011. Eficacia de productos químicos, orgánicos y biológicos en el control de mal de talluelo (*rhizoctonia solani*) y pudrición de raíz (*fusarium spp.*) en plántulas de café. Tesis Ing. Agr. Catacamas, Honduras. Universidad Nacional de Agricultura 62 pág.

Muñoz, 2005. Respuestas a cinco variedades comerciales de maíz (*Zea mays*) a tres niveles de fertilización nitrogenada. Tesis Lic. Ing. Universidad Nacional de Agricultura. Honduras, Catacamas, Olancho.

Nolasco H. 2005. Respuesta del maíz dulce (*Zea mays* var. Sacharata) a diferentes niveles de fertilización nitrogenado y uso de caupi (*vigna unguiculata*) como abono verde.

PIONEER. 2007. Anormalidades de mazorcas de maíz. (En línea). Consultado el 30 de noviembre del 2013. Disponible en: <http://agcrops.osu.edu/specialists/corn/specialist-announcements/SpanishVersionAbnormalEarsPoster.pdf>

Rozas H.S. y Echeverría H. E. 1996. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. Revista, La Plata 103 (1). (En línea). Consultado el 22 de mayo del 2013. Disponible en: http://www.agro.unlp.edu.ar/uploads/R/agro103_44.pdf

Sainz Rozas H., H. Echeverría, Studdert G. y F. Andrade.1999. La siembra de maíz de nitrógeno absorción y rendimiento: Efecto de inhibidor de la ureasa y el tiempo de aplicación. Agron. J. 91:950-955.

Sánchez. Pudrición de mazorcas. (En línea). Consultado el 30 de noviembre del 2013. Disponible en: <http://www.agrosintesis.com/component/content/article/49-front-page/326-pudricion-de-la-mazorca>

Tisdale, L. S y Nelson, W. L.2002. Fertilidad de los Suelos y Fertilizantes. Ed. UTHEA. México. 760p. (En línea). Consultado el 10 de mayo del 2013. Disponible en <http://eprints.uanl.mx/1542/1/1080124385.PDF>

Torres. Uso de medidores de clorofila (N-Tester/SPAD-502) como estrategia para optimizar la eficiencia agronómica de fertilizantes nitrogenados en Papa (*Solanum tuberosum* L.) y reducir impacto en la huella del carbono agrícola (En línea) 30 de noviembre 2013. Disponible en: <http://www.conpapa.org.mx/portal/pdf/EVENTO/Modulo%203%20Nutricion/Medidores.pdf>

Viramontes, U.F y Contreras, R. F. Requerimiento de nitrógeno en maíz forrajero y su uso eficiente de fertilizante. (En línea) 25 de mayo 2013. Disponible en: www.semillasberentsen.com.mx/ferilizacion.pdf

Yanes. 2002. nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales. (En línea) 30 de noviembre del 2013. Disponible en: <http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio2/Ponencia03.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza para la variable altura de planta.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr<F	SIGNIFICANCIA
TRATAMIENTO	4	1.217	0.3042	28.38	0.0001	**
REPETICIÓN	3	0.0167	0.00556	0.52	0.677	NS
ERROR	12	0.1286	0.1072			
TOTAL	19	1.3621				
R ² =0.906 CV=5.50% X=1.88						

Anexo 2. Análisis de varianza para la variable número de hojas.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr<F	SIGNIFICANCIA
TRATAMIENTO	4	50.80	12.70	54.43	0.0001	**
REPETICIÓN	3	0.20	0.067	0.29	0.83	NS
ERROR	12	2.80	0.23			
TOTAL	19	53.80				
R ² =0.95 CV=4% X=12.10						

Anexo 3. Análisis de varianza para la variable diámetro de tallo.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr<F	SIGNIFICANCIA
TRATAMIENTO	4	14.51	3.63	14.48	0.0002	**
REPETICIÓN	3	0.52	0.17	0.69	0.57	NS
ERROR	12	3.006	0.25			
TOTAL	19	18.0375				
R ² =0.83 CV=18.71% X=2.67						

Anexo 4. Análisis de varianza para la variable altura de mazorca.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr<F	SIGNIFICANCIA
TRATAMIENTO	4	0.76	0.19	53.15	0.0001	**
REPETICIÓN	3	0.019	0.006	1.80	0.20	NS
ERROR	12	0.043	0.0036			
TOTAL	19	0.08228				
R ² =0.95 CV=7.31% X=0.82						

Anexo 5. Análisis de varianza para la variable mazorca por planta.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr<F	SIGNIFICANCIA
TRATAMIENTO	4	0.95	0.2384	24.57	0.0001	**
REPETICIÓN	3	0.0068	0.0022	0.23	0.87	NS
ERROR	12	0.12	0.0097			
TOTAL	19	1.08				
R ² =0.89 CV=10.57% X=0.93						

Anexo 6. Análisis de varianza para la variable pudrición de mazorca.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr<F	SIGNIFICANCIA
TRATAMIENTO	4	114.78	28.7	2.38	0.11	NS
REPETICIÓN	3	31.42	10.47	0.87	0.48	NS
ERROR	12	144.86	12.07			
TOTAL	19	291.07				
R ² =0.50 CV=40.6% X=8.55						

Anexo 7. Análisis de varianza para la variable longitud de mazorca.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr<F	SIGNIFICANCIA
TRATAMIENTO	4	200.85	50.21	25.40	0.0001	NS
REPETICIÓN	3	1.29	0.43	0.22	0.88	NS
ERROR	12	23.72	1.98			
TOTAL	19	225.87				
R ² =0.89 CV=8.14% X=17.28						

Anexo 8. Análisis de varianza para la variable diámetro de mazorca.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr<F	SIGNIFICANCIA
TRATAMIENTO	4	4.82	1.20	19.19	0.0001	**
REPETICIÓN	3	0.35	0.12	1.88	0.18	NS
ERROR	12	0.75	0.063			
TOTAL	19	5.93				
R ² =0.87 CV=6.67% X=3.75						

Anexo 9. Análisis de varianza para la variable número de hileras por mazorca.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr<F	SIGNIFICANCIA
TRATAMIENTO	4	16.19	4.05	7.66	0.0026	*
REPETICIÓN	3	0.15	0.05	0.09	0.96	NS
ERROR	12	6.34	0.053			
TOTAL	19	22.68				
		R ² =0.72	CV=5.76%	X=12.61		

Anexo 10. Análisis de varianza para la variable granos por hilera.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr<F	SIGNIFICANCIA
TRATAMIENTO	4	760.33	190.08	12.81	0.0003	**
REPETICIÓN	3	59.94	19.98	1.35	0.30	NS
ERROR	12	178.11	14.84			
TOTAL	19	998.38				
		R ² =0.82	CV=11.3%	X=34.035		

Anexo 11. Análisis de varianza para la variable peso de cien granos.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr<F	SIGNIFICANCIA
TRATAMIENTO	4	97.36	24.34	14.38	0.0002	**
REPETICIÓN	3	21.68	7.23	4.27	0.03	*
ERROR	12	20.32	1.69			
TOTAL	19	139.36				
		R ² =0.85	CV=3.37%	X=38.60		

Anexo 12. Análisis de varianza para la variable biomasa.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr<F	SIGNIFICANCIA
TRATAMIENTO	4	144871742.6	36217935.7	15	0.0001	**
REPETICIÓN	3	3932311.0	1310770.3	0.54	0.66	NS
ERROR	12	28978996.3	2414916.4			
TOTAL	19	177783050.3				
		R ² =0.84	CV=20.34%	X=7641.5		

Anexo 13. Análisis de varianza para la variable mazorca sin tuza.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr<F	SIGNIFICANCIA
TRATAMIENTO	4	24327172.7	6081793.2	22.09	0.0001	**
REPETICIÓN	3	180680.9	60226.98	0.22	0.88	NS
ERROR	12	3304499.3	275374.94			
TOTAL	19	27812352.9				
		R ² =0.88	CV=12.8%	X=4097.9		

Anexo 14. Análisis de varianza para la variable rendimiento.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr<F	SIGNIFICANCIA
TRATAMIENTO	4	13133893	3283473.2	7.29	0.0032	*
REPETICIÓN	3	383116.32	127705.4	0.28	0.83	NS
ERROR	12	5403647	450303.9			
TOTAL	19	18920656.3				
		R ² =0.71	CV=31.07%	X=2159.56		

Anexo 15. Análisis de varianza de la regresión para la 1era. Medición del índice del contenido de clorofila.

FV	GL	SC	MC	F	P	SIGNIFICANCIA
REGRESION	1	2823004	2823004	18.39	0.023	*
ERROR	3	460586	153529			
TOTAL	4	3283589				

R- R-

S=391.827 CUAD.=86% CUAD.(AJUSTADO)=81.3%

ECUACION DE REGRESION
YPRIM.=1396+164.5 XPRIM.

Anexo 16. Análisis de varianza de la regresión para la 2da. Medición del contenido de clorofila.

FV	GL	SC	MC	F	P	SIGNIFICANCIA
REGRESION	1	2330871	2330871	7.34	0.073	NS
ERROR	3	952718	317573			
TOTAL	4	3283589				

R-

S=563.536 R-CUAD.=71% CUAD.(AJUSTADO)=61.3%

ECUACION DE REGRESION
YSEG: -244.7+81.34 XSEG

Anexo 17. Análisis de varianza de la regresión para la 3era. Medición del contenido de clorofila.

FV	GL	SC	MC	F	P	SIGNIFICANCIA
REGRESION	1	3034605	3034605	36.56	0.009	*
ERROR	3	248984	82995			
TOTAL	4	3283589				

R- R-

S=288.088 CUAD=92.4% CUAD(AJUSTADO)=89.9%

ECUACION DE REGRESION
YTER=199.2+75.04 XTER

Anexo 18. Análisis de varianza de la regresión para la 4ta. Medición del índice de contenido de clorofila.

FUENTE	GL	SC	MC	F	P	SIGNIFICANCIA
REGRESION	1	2825600	2825600	18.51	0.023	*
ERROR	3	457990	152663			
TOTAL	4	3283589				

R- S=390.721 CUAD=86.1% R- CUAD(AJUSTADO)=81.4%

ECUACION DE REGRESION
YCUAR=145.0+53.54 XCUAR

Anexo 19. Análisis de varianza de la regresión para la 5ta. Medición del índice de contenido de clorofila.

FUENTE	GL	SC	MC	F	P	SIGNIFICANCIA
REGRESION	1	3002507	3002507	32.05	0.011	*
ERROR	3	281083	93694			
TOTAL	4	3283589				

R- S=306.095 CUAD=91.4% R- CUAD(AJUSTADO)=88.6%

ECUACION DE REGRESION
YQUIN= -291.8+86.92 XQUIN